



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ**

**Βελτιστοποίηση στρατοσφαιρικού δικτύου για
παροχή σταθερών υπηρεσιών ευρείας ζώνης
και Ραδιοκάλυψη της Ελλάδας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΟΔΩΡΟΣ Ε. ΣΙΟΥΤΗΣ
ΔΕΣΠΟΙΝΑ Γ. ΤΡΟΥΛΛΑΚΗ**

**Επιβλέπων : Φίλιππος Κωνσταντίνου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.**

Αθήνα, Οκτωβριος 2006



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Βελτιστοποίηση στρατοσφαιρικού δικτύου για παροχή σταθερών υπηρεσιών ευρείας ζώνης και Ραδιοκάλυψη της Ελλάδας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΟΔΩΡΟΣ Ε. ΣΙΟΥΤΗΣ
ΔΕΣΠΟΙΝΑ Γ. ΤΡΟΥΛΛΑΚΗ

Επιβλέπων : Φίλιππος Κωνσταντίνου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 26^η Ιουλίου 2004.

(Υπογραφή)

.....
Φίλιππος Κωνσταντίνου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....
Νικόλαος Ουζούνογλου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....
Χρήστος Καψάλης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2006

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....

.....

ΘΕΟΔΩΡΟΣ Ε. ΣΙΟΥΤΗΣ

ΔΕΣΠΟΙΝΑ Γ. ΤΡΟΥΛΛΑΚΗ

Διπλωματούχοι Ηλεκτρολόγοι Μηχανικοί και Μηχανικοί Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

© 2006 – All rights reserved

Copyright © ΘΕΟΔΩΡΟΣ Ε. ΣΙΟΥΤΗΣ, 2006

Copyright © ΔΕΣΠΟΙΝΑ Γ. ΤΡΟΥΛΛΑΚΗ, 2006

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ολοένα αυξανόμενη απαίτηση για παροχή υπηρεσιών τηλεπικοινωνιακής φύσης οδηγεί την τεχνολογία και την έρευνα σε συνεχώς πρωτοποριακές και επαναστατικές εφευρέσεις. Η εισαγωγή νέων συστημάτων, αρχιτεκτονικών και προτύπων τηλεπικοινωνίας είναι μια άκρως δελεαστική πρόκληση, για τους ανθρώπους που ασχολούνται με τον τομέα των επικοινωνιών, μπροστά στην οποία κανείς δεν παραμένει αμέτοχος. Η ιδέα για την ανάπτυξη ενός πρωτοποριακού τηλεπικοινωνιακού συστήματος, το οποίο θα παρέχει ευρύτερες υπηρεσίες βρισκόμενο σε μεγάλα ύψη στην στρατόσφαιρα, κερδίζει όλο και περισσότερο έδαφος, κεντρίζοντας το ενδιαφέρον της παγκόσμιας βιομηχανίας τηλεπικοινωνιών.

Τα στρατοσφαιρικά τηλεπικοινωνιακά συστήματα είναι πολλά υποσχόμενα, εύκολα στο στήσιμο και την λειτουργία τους, ενώ το κόστος ανάπτυξης τους είναι σχετικά μικρό. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη, μέσω προγράμματος προσομοίωσης, σεναρίων ραδιοκάλυψης της Ελλάδας για παροχή υπηρεσιών δεδομένων, ήχου και κινούμενης εικόνας. Τα σενάρια διαφοροποιούνται ως προς το υψόμετρο που τοποθετούνται οι πλατφόρμες και αυτό συνεπάγεται διαφορετικό αριθμό πλατφόρμων οι οποίες είναι απαραίτητες για την επαρκή κάλυψη της Ελλάδας καθώς και διαφορετικό κόστος υλοποίησης. Η μελέτη εστιάζεται στον υπολογισμό του σηματοθορυβικού λόγου κάθε ζεύξης και τη σύγκρισή του με τον απαιτούμενο σηματοθορυβικό λόγο της εκάστοτε υπηρεσίας.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Στρατοσφαιρικό σύστημα τηλεπικοινωνιών, στρατοσφαιρική πλατφόρμα σηματοθορυβικός λόγος, ραδιοκάλυψη της Ελλάδας, περιοχές κάλυψης, ζώνες κάλυψης, ρυθμός μετάδοσης, προϋπολογισμός ζεύξης, ευθεία οπτικής επαφής, διαπλαφορμική ζεύξη, 47-48 GHz, Visualyse.

ABSTRACT

The continuously increasing demand for the provision of telecommunication services leads the technology and research to increasingly pioneering and revolutionary inventions. The introduction of new systems, architectural and models of telecommunication is a truly enticing challenge, for people who deal with the communication field, in the face of which nobody remains without participation. The idea of the development of a pioneering telecommunication system, which would provide wider services situated in great heights in the stratosphere, gains more and more ground, intriguing the interest of global telecommunication industry.

The stratospheric telecommunication systems are promising, easy to install and operate and the cost of their development is relevantly low. The purpose of the present dissertation is the study, via a simulation program, of radiocoverage scenarios for supplying data, audio and video services over Greece. The scenarios differ in the altitude the HAPs are placed and that leads not only to different number of platforms that are necessary for sufficient coverage of Greece but also to different cost. The study is focused on calculating the C/N ratio for every link and comparing it with the required C/N of every service.

KEY WORDS

Telecommunication stratospheric system, HAP, C/N, radiocoverage of Greece, coverage area, coverage zones (UAC, SAC, RAC), bit rate, link budget, Line Of Sight (LOS), interplatform link, 47-48 GHz, Visualyse.

Ευχαριστίες

Με την ευκαιρία που μας δίνεται, μέσω αυτής της διπλωματικής εργασίας, θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στον κ. Φ. Κωνσταντίνου, καθηγητή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για την ευκαιρία που μας παρέιχε να περατώσουμε τη διπλωματική μας εργασία και ταυτόχρονα να ασχοληθούμε με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα.

Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε ιδιαίτερα τον κ. Β. Μήλα, διπλωματούχο ηλεκτρολόγο μηχανικό και διδάκτορα του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, οι συμβουλές και η καθοδήγηση του οποίου στάθηκαν πολύτιμες για την επιτυχή ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, θα θέλαμε να εκφράσουμε το σεβασμό, την ευγνωμοσύνη και τις ευχαριστίες μας στις οικογένειες μας, οι οποίες μας συμπαραστάθηκαν ηθικά και υλικά, όλο αυτό το διάστημα των σπουδών μας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΤΡΑΤΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΠΛΑΤΦΟΡΜΩΝ

1.1	Ιστορική αναδρομή.....	31
1.2	Δορυφορικά, Ασύρματα επίγεια και Στρατοσφαιρικά Συστήματα.....	34
1.2.1	Η εξέλιξη των δορυφορικών επικοινωνιών και η γέννηση των στρατοσφαιρικών συστημάτων.....	34
1.2.2	Σύγκριση Δορυφορικών και Στρατοσφαιρικών Συστημάτων..	35
1.2.3	Σύγκριση Επίγειων Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων και Στρατοσφαιρικών Συστημάτων HAPS.....	39
1.3	Συνθήκες στη στρατόσφαιρα	44
1.4	Ανάθεση συχνοτήτων για HAPs.....	48
1.4.1	Ρόλος της ITU στην εκχώρηση φάσματος.....	48
1.4.2	Ανάθεση στις Συχνότητες στα 48 GHz.....	50
1.4.3	Ανάθεση στις Συχνότητες στα 28 και 31 GHz.....	51
1.4.4	IMT-2000.....	52
1.5	Πλατφόρμες.....	54
1.5.1	Zepplin.....	54
1.5.2	Αερόπλοια.....	56
1.5.2.1	Sky Station.....	57
1.5.2.2	StratSat.....	58
1.5.2.3	Σύστημα Στρατοσφαιρικής Πλατφόρμας από την Ιαπωνία....	59
1.5.3	Μη επανδρωμένα αεροπλάνα.....	60
1.5.3.1	SkyTower.....	61
1.5.3.2	Heliplat.....	62
1.5.4	Επανδρωμένα αεροσκάφη.....	62
1.5.4.1	HALO Proteus.....	63
1.5.5	Μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα και δεμένα στο έδαφος αερόστατα.....	63
1.5.5.1	ARC σύστημα.....	64
1.6	Τεχνικά χαρακτηριστικά του στρατοσφαιρικού συστήματος.....	66
1.6.1	Τεχνικά χαρακτηριστικά της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας..	66
1.6.2	Ζώνες Κάλυψης.....	66
1.6.2.1	Γεωμετρικά χαρακτηριστικά ενός στρατοσφαιρικού συστήματος.....	67
1.6.3	Δίκτυα Στρατοσφαιρικών πλατφορμών.....	70

1.6.4	Σταθμοί-Δίοδοι και Τερματικά.....	71
1.6.5	Σύστημα Ελέγχου.....	73
1.6.6	Χαρακτηριστικά εκπομπής Σταθμού Πλατφόρμας.....	74
1.6.7	Τερματικά Χρήστη UT και Σταθμοί-Πύλες.....	75
1.6.8	Διαγράμματα Ακτινοβολίας Κεραίας.....	76
1.7	Απόκριση φίλτρου RF και εκτός ζώνης εκπομπή.....	77
1.8	Προβλήματα.....	78
1.8.1	Ενεργειακά Προβλήματα.....	78
1.8.2	Μη Επανδρωμένη Λειτουργία και Μεγάλη Διάρκεια Λειτουργίας.....	80
1.8.3	Υλικά Κατασκευής.....	80
1.8.4	Σταθερότητα.....	80
1.8.5	Άλλα Προβλήματα.....	82
	Βιβλιογραφία 1^{ου} κεφαλαίου.....	84

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΘΟΡΥΒΟΣ

2.1	Εισαγωγή.....	87
2.2	Είδη θορύβου.....	87
2.2.1	Τεχνητός Θόρυβος.....	87
2.2.2	Φυσικός Θόρυβος.....	88
2.3	Ανάλυση θορύβου.....	88
2.3.1	Λευκός Θόρυβος.....	88
2.3.2	Ισοδύναμη Θερμοκρασία και Ισοδύναμο Εύρος Θορύβου...89	
2.3.3	Συντελεστής θορύβου (Noise Figure - NF).....	90
2.4	Αλυσίδα θορύβου.....	91
2.4.1	Θερμοκρασία Θορύβου σε Ενεργό Στοιχείο.....	91
2.4.2	Θερμοκρασία Θορύβου Αλυσίδας.....	93
2.4.3	Θερμοκρασία Θορύβου Εξασθενητή.....	93
2.4.4	Θερμοκρασία Θορύβου της Κεραίας Δέκτη.....	94
2.5	Συνολική Θερμοκρασία Θορύβου Συστήματος Λήψης...94	
	Βιβλιογραφία 2^{ου} κεφαλαίου.....	96

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ – ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

3.1	Εισαγωγή	97
3.2	Διαμόρφωση	97
3.2.1	Αναλογική Διαμόρφωση.....	97
3.2.2	Ψηφιακή Διαμόρφωση.....	98
3.3	Μορφοποίηση σήματος.....	99
3.4	Αξιοπιστία ψηφιακού συστήματος	100
3.4.1	Πιθανότητα Σφάλματος Δυαδικών Ψηφίων (Bit Error Probability – BEP).....	101
3.4.2	Ρυθμός Μετάδοσης Λαθών (Bit Error Rate – BER).....	101

3.5	Είδη ψηφιακής διαμόρφωσης.....	102
3.5.1	Phase Shift Keying Διαμόρφωση (PSK).....	102
3.5.2	Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) Διαμόρφωση.....	103
3.6	Απόδοση φάσματος – Χωρητικότητα του καναλιού.....	107
	Βιβλιογραφία 3^{ου} κεφαλαίου.....	108

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΑΝΑΛΥΣΗ ΡΑΔΙΟΖΕΥΞΗΣ

4.1	Εισαγωγή.....	109
4.2	Επίγειος σταθμός – Πομπός.....	110
4.3	Άνω ζεύξη.....	112
4.3.1	Απώλειες ελευθέρου Χώρου (Free-Space Losses).....	112
4.3.2	Απώλειες τροπόσφαιρας.....	115
4.3.3	Απώλειες ατμοσφαιρικών κατακριμνήσεων.....	117
4.3.3.1	Διαλείψεις που οφείλονται στην εξασθένηση των Η/Μ κυμάτων λόγω ατμοσφαιρικών κατακριμνήσεων συστήματος.....	117
4.3.3.2	Υπολογισμός ειδικής απόσβεσης λόγω βροχής.....	118
4.3.4	Απώλειες λόγω αποπόλωσης.....	120
4.3.5	Σύνοψη Απωλειών.....	122
4.4	Στρατοσφαιρική Πλατφόρμα.....	122
4.5	Κάτω ζεύξη (Downlink).....	126
4.6	Επίγειος σταθμός – Δέκτης.....	127
	Βιβλιογραφία 4^{ου} κεφαλαίου.....	131

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ VISUALYSE

5.1	Εισαγωγή.....	133
5.2	Έναρξη του προγράμματος.....	134
5.3	Object explorer.....	135
5.4	Τρόποι κατασκευής διαγραμμάτων ακτινοβολίας.....	136
5.5	Δημιουργία των διαγραμμάτων ακτινοβολίας.....	137
5.5.1	Διάγραμμα Ακτινοβολίας Επίγειου Τερματικού στην Αστική Ζώνη Κάλυψης.....	138
5.5.2	Διάγραμμα Ακτινοβολίας Στρατοσφαιρικής Πλατφόρμας.....	141
5.6	Δημιουργία των φερόντων κυμάτων.....	142
5.6.1	Δημιουργία Φέροντος για την Στρατοσφαιρική Ζεύξη.....	142
5.7	Κατασκευή τηλεπικοινωνιακού σταθμού.....	144
5.7.1	Κατασκευή επίγειου σταθμού.....	145
5.7.2	Κατασκευή στρατοσφαιρικής πλατφόρμας.....	148
5.8	Ανίχνευση – Tracking.....	152
5.9	Δημιουργία ζεύξεων.....	158
5.9.1	Κατασκευή ζεύξης μεταξύ επίγειου σταθμού και πλατφόρμας.....	161

5.10	Χρήση ψηφιακού χάρτη.....	170
5.11	Μεταβλητές – Variables.....	171
5.11.1	Μεταβολή θέσης επίγειου σταθμού με κατανομή Monte Carlo.....	172
5.12	Γραφήματα.....	175
5.13	Εκτέλεση προσομοίωσης και εξαγωγή αποτελεσμάτων.....	175

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

ΡΑΔΙΟΚΑΛΥΨΗ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ LOS

6.1	Εισαγωγή.....	179
6.1.1	Γεωμετρικά χαρακτηριστικά και επιτρεπόμενες απώλειες λόγω περίθλασης για το πρώτο σενάριο ραδιοκάλυψης.....	183
6.1.2	Γεωμετρικά χαρακτηριστικά και επιτρεπόμενες απώλειες λόγω περίθλασης για το δεύτερο σενάριο ραδιοκάλυψης.....	184
6.1.3	Γεωμετρικά χαρακτηριστικά και επιτρεπόμενες απώλειες λόγω περίθλασης για το τρίτο σενάριο ραδιοκάλυψης.....	185
6.2	Σενάριο 1^ο : Ραδιοκάλυψη της Ελλάδας και μελέτη LOS με τις πλατφόρμες τοποθετημένες στα 21 km.....	186
6.3	Σενάριο 2^ο : Ραδιοκάλυψη της Ελλάδας και μελέτη LOS με τις πλατφόρμες τοποθετημένες στα 15 km.....	203
6.4	Σενάριο 3^ο : Ραδιοκάλυψη της Ελλάδας και μελέτη LOS με τις πλατφόρμες τοποθετημένες στα 25 km.....	239
	Βιβλιογραφία 6^{ου} κεφαλαίου.....	248

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

ΡΑΔΙΟΚΑΛΥΨΗ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ C/N

7.1	Εισαγωγή.....	249
7.2	Τύποι υπηρεσιών και εφαρμογών κατάλληλων για HAPs και παράμετροι επικοινωνίας.....	249
7.3	1^ο σενάριο: Ραδιοκάλυψη με τις πλατφόρμες τοποθετημένες στα 21 km και μελέτη του λόγου E_b/N_0.....	253
7.4	2^ο σενάριο: Ραδιοκάλυψη με τις πλατφόρμες τοποθετημένες στα 15 km και μελέτη του λόγου E_b/N_0.....	302
7.5	3^ο σενάριο: Ραδιοκάλυψη με τις πλατφόρμες τοποθετημένες στα 25 km και μελέτη του λόγου E_b/N_0.....	375
	4^ο σενάριο: Τοποθέτηση πλατφόρμων στα 3 km πάνω από επιλεγμένα σημεία της Ελλάδας για κάλυψη περιπτώσεων εκτάκτου ανάγκης.....	403
7.7	Συμπεράσματα για όλα τα σενάρια ραδιοκάλυψης.....	424
	Βιβλιογραφία 7^{ου} κεφαλαίου.....	426

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο**ΟΠΤΙΚΗ ΖΕΥΞΗ ΜΕΤΑΞΥ ΔΥΟ ΠΛΑΤΦΟΡΜΩΝ ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΩΝ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΘΗΝΑ ΚΑΙ ΤΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ**

8.1	Εισαγωγή.....	427
8.2	Ζεύξη μεταξύ δύο πλατφορμών τοποθετημένων στα 21 km πάνω από την Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη.....	428
8.3	Ζεύξη μεταξύ δύο πλατφορμών τοποθετημένων στα 3 km πάνω από την Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη.....	430
8.4	Επίδραση της βροχής στην επίδοση συστημάτων επικοινωνιών πάνω από την Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη.....	433
8.5	Ζεύξη μεταξύ δύο πλατφορμών τοποθετημένων στα 4 km πάνω από την Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη.....	435
8.6	Συμπεράσματα για την οπτική ζεύξη μεταξύ δύο πλατφορμών.....	436
	Βιβλιογραφία 8^{ου} κεφαλαίου.....	438

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

- Σχήμα 1.1 Διάμετρος κυψελών στρατοσφαιρικού και δορυφορικού συστήματος
- Σχήμα 1.2 Κεραίες επίγειων τερματικών χρηστών ενός στρατοσφαιρικού συστήματος
- Σχήμα 1.3 Διάδοση, υπό συνθήκες βροχής για επίγεια και στρατοσφαιρική ζεύξη
- Σχήμα 1.4 Η ατμόσφαιρα
- Σχήμα 1.5 Ο τηλεπικοινωνιακός χάρτης της ITU
- Σχήμα 1.6 Zeppelin του 19^{ου} αιώνα
- Σχήμα 1.7 Το δυστύχημα στο Εδιμβούργο
- Σχήμα 1.8 Το αερόστατο Zeppelin NT
- Σχήμα 1.9 Ένα αερόπλοιο της εταιρείας Lindstrand
- Σχήμα 1.10 Sky Station
- Σχήμα 1.11 StratSat
- Σχήμα 1.12 Στρατοσφαιρική πλατφόρμα από την Ιαπωνία
- Σχήμα 1.13 Το αεροπλάνο Pathfinder Plus
- Σχήμα 1.14 SkyTower-Helios
- Σχήμα 1.15 Heliplat
- Σχήμα 1.16 HALO-Proteus
- Σχήμα 1.17 Το στρατιωτικό UAV Predator
- Σχήμα 1.18 ARC σύστημα
- Σχήμα 1.19 Επιφάνεια κάλυψης στρατοσφαιρικής πλατφόρμας
- Σχήμα 1.20 Δίκτυο στρατοσφαιρικής πλατφόρμας
- Σχήμα 1.21 Διασύνδεση του κεντρικού μεταγωγέα του σταθμού της πλατφόρμας με τα επίγεια τερματικά και τους σταθμούς-διόδους
- Σχήμα 1.22 Προβολή δεσμών στην προασιακή ζώνη κάλυψης
- Σχήμα 1.23 Χώρος μέσα στον οποίο πρέπει να εντοπίζεται μια στρατοσφαιρική πλατφόρμα, σε σχέση με ένα σταθερό σημείο στο έδαφος
- Σχήμα 1.24 Παρεμβολή που μπορεί να προκαλέσει το φαινόμενο της βροχής σε ομοδιαυλικές κυψέλες
- Σχήμα 2.1 Θορυβώδες και ισοδύναμο αθόρυβο στοιχείο
- Σχήμα 2.2 Ενεργός θερμοκρασία εισόδου ενός δίθυρου στοιχείου
- Σχήμα 2.3 Σύστημα λήψης για τον υπολογισμό της ισοδύναμης θερμοκρασίας του συστήματος T_{Σ}
- Σχήμα 3.1 Παραδείγματα ASK, PSK και FSK
- Σχήμα 3.2 Ακολουθίες ψηφίων της QPSK διαμόρφωσης
- Σχήμα 3.3 Διάγραμμα φάσεων της QPSK διαμόρφωσης
- Σχήμα 4.1 Τμήματα στρατοσφαιρικής ζεύξης
- Σχήμα 4.2 Ορισμός ζωνών Fresnel ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος
- Σχήμα 4.3 Λήψη ορθογώνιων πολώσεων
- Σχήμα 5.1 Δισδιάστατη απεικόνιση της Γης
- Σχήμα 5.2 Τρισδιάστατη απεικόνιση της Γης
- Σχήμα 5.3 Το παράθυρο του Object Explorer
- Σχήμα 5.4 Παράθυρο επιλογής διαγράμματος ακτινοβολίας
- Σχήμα 5.5 Δημιουργία νέου διαγράμματος ακτινοβολίας
- Σχήμα 5.6 Διάγραμμα ακτινοβολίας του επίγειου τερματικού

- Σχήμα 5.7 Υπολογισμός της γωνίας ημίσειας ισχύος
- Σχήμα 5.8 Διάγραμμα ακτινοβολίας της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας
- Σχήμα 5.9 Δημιουργία καινούργιου φέροντος κύματος
- Σχήμα 5.10 Δημιουργία φέροντος της προς τα κάτω στρατοσφαιρικής ζεύξης
- Σχήμα 5.11 Παράθυρο επιλογής τύπου τηλεπικοινωνιακού σταθμού
- Σχήμα 5.12 Φύλλο General του Επίγειου Σταθμού
- Σχήμα 5.13 Φύλλο Antenna του Επίγειου Σταθμού
- Σχήμα 5.14 Φύλλο Beams του Επίγειου Σταθμού
- Σχήμα 5.15 Φύλλο Dynamics του Επίγειου Σταθμού
- Σχήμα 5.16 Φύλλο General της πλατφόρμας
- Σχήμα 5.17 Φύλλο Antenna της πλατφόρμας
- Σχήμα 5.18 Φύλλο Beams της πλατφόρμας
- Σχήμα 5.19 Φύλλο Dynamics της πλατφόρμας
- Σχήμα 5.20 Φύλλο General για τη στρατηγική ανίχνευσης
- Σχήμα 5.21 Φύλλο Current Station για τη στρατηγική ανίχνευσης της πλατφόρμας
- Σχήμα 5.22 Φύλλο Reduction για τη στρατηγική ανίχνευσης
- Σχήμα 5.23 Φύλλο Selection για τη στρατηγική ανίχνευσης
- Σχήμα 5.24 Παράθυρο επιλογής τύπου ζεύξης
- Σχήμα 5.25 Φύλλο General της ζεύξης μεταξύ Επίγειου Σταθμού και Πλατφόρμας
- Σχήμα 5.26 Φύλλο Start Station της ζεύξης μεταξύ Επίγειου Σταθμού και Πλατφόρμας
- Σχήμα 5.27 Φύλλο End Station της ζεύξης μεταξύ Επίγειου Σταθμού και Πλατφόρμας
- Σχήμα 5.28 Φύλλο Propagation When Wanted της ζεύξης μεταξύ Επίγειου Σταθμού και Πλατφόρμας
- Σχήμα 5.29 Φύλλο Propagation When Interferer της ζεύξης μεταξύ Επίγειου Σταθμού και πλατφόρμας
- Σχήμα 5.30 Φύλλο Powers της ζεύξης μεταξύ Επίγειου Σταθμού και Πλατφόρμας
- Σχήμα 5.31 Φύλλο Criteria της ζεύξης μεταξύ Επίγειου Σταθμού και πλατφόρμας
- Σχήμα 5.32 Φύλλο Return Powers της ζεύξης μεταξύ Επίγειου Σταθμού και Πλατφόρμας
- Σχήμα 5.33 Απεικόνιση των σταθμών με χρήση του ψηφιακού χάρτη
- Σχήμα 5.34 Παράθυρο επιλογής τύπου μεταβλητής
- Σχήμα 5.35 Δημιουργία τυχαίας μεταβλητής που ακολουθεί κατανομή Monte Carlo
- Σχήμα 5.36 Φύλλο ορισμού μεταβλητής Monte Carlo για το γεωγραφικό πλάτος
- Σχήμα 5.37 Φύλλο ορισμού μεταβλητής Monte Carlo για το γεωγραφικό μήκος
- Σχήμα 5.38 Επιλογή της ζητούμενης ζεύξης της οποίας θέλουμε να δούμε τα στατιστικά των παρεμβολών που δέχτηκε κατά την διάρκεια της προσομοίωσης
- Σχήμα 5.39 Δημιουργία γραφικής παράστασης για την μελέτη της ζητούμενης ζεύξης
- Σχήμα 5.40 Επιλογή ζεύξης για την απεικόνιση στην γραφική παράσταση
- Σχήμα 6.1 Εμπόδιο κάτω από την οπτική ευθεία ζεύξεως
- Σχήμα 6.2 Εμπόδιο πάνω από την οπτική ευθεία ζεύξεως
- Σχήμα 6.3 Ραδιοκάλυψη της Ελλάδας στα 21 km
- Σχήμα 6.4 Ποσοστό LOS για τη UAC ζώνη - 21 km

- Σχήμα 6.5 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη - 21 km
- Σχήμα 6.6 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη - 21 km
- Σχήμα 6.7 Ποσοστό LOS για τη UAC ζώνη - 21 km
- Σχήμα 6.8 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη - 21 km
- Σχήμα 6.9 Ποσοστό LOS για τη UAC ζώνη - 21 km
- Σχήμα 6.10 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη - 21 km
- Σχήμα 6.11 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη - 21 km
- Σχήμα 6.12 Ποσοστό LOS για τη UAC ζώνη - 21 km
- Σχήμα 6.13 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη - 21 km
- Σχήμα 6.14 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη - 21 km
- Σχήμα 6.15 Ποσοστό LOS για τη UAC ζώνη - 21 km
- Σχήμα 6.16 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη - 21 km
- Σχήμα 6.17 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη - 21 km
- Σχήμα 6.18 Ποσοστό LOS για τη UAC ζώνη - 21 km
- Σχήμα 6.19 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη - 21 km
- Σχήμα 6.20 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη - 21 km
- Σχήμα 6.21 Ποσοστό LOS για τη UAC ζώνη - 21 km
- Σχήμα 6.22 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη - 21 km
- Σχήμα 6.23 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη - 21 km
- Σχήμα 6.24 Ραδιοκάλυψη της Ελλάδας στα 15 km
- Σχήμα 6.25 Ποσοστό LOS για τη UAC ζώνη -15 km
- Σχήμα 6.26 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη -15 km
- Σχήμα 6.27 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη -15 km
- Σχήμα 6.28 Ποσοστό LOS για τη UAC ζώνη -15 km
- Σχήμα 6.29 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη -15 km
- Σχήμα 6.30 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη -15 km
- Σχήμα 6.31 Μορφολογία εδάφους και έλλειψη οπτικής επαφής στην SAC ζώνη – 15 km
- Σχήμα 6.32 Μορφολογία εδάφους και έλλειψη οπτικής επαφής στην RAC ζώνη – 15 km
- Σχήμα 6.33 Ποσοστό LOS για τη UAC ζώνη -15 km
- Σχήμα 6.34 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη -15 km
- Σχήμα 6.35 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη -15 km
- Σχήμα 6.36 Μορφολογία εδάφους και έλλειψη οπτικής επαφής στην UAC ζώνη – 15 km
- Σχήμα 6.37 Μορφολογία εδάφους και έλλειψη οπτικής επαφής στην SAC ζώνη – 15 km
- Σχήμα 6.38 Μορφολογία εδάφους και έλλειψη οπτικής επαφής στην RAC ζώνη – 15 km
- Σχήμα 6.39 Ποσοστό LOS για τη UAC ζώνη -15 km
- Σχήμα 6.40 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη -15 km
- Σχήμα 6.41 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη -15 km
- Σχήμα 6.42 Ποσοστό LOS για τη UAC ζώνη -15 km
- Σχήμα 6.43 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη -15 km
- Σχήμα 6.44 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη -15 km
- Σχήμα 6.45 Ποσοστό LOS για τη UAC ζώνη -15 km

- Σχήμα 6.46 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη -15 km
- Σχήμα 6.47 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη -15 km
- Σχήμα 6.48 Μορφολογία εδάφους και έλλειψη οπτικής επαφής στην UAC ζώνη – 15 km
- Σχήμα 6.49 Μορφολογία εδάφους και έλλειψη οπτικής επαφής στην SAC ζώνη – 15 km
- Σχήμα 6.50 Μορφολογία εδάφους και έλλειψη οπτικής επαφής στην RAC ζώνη - 15 km
- Σχήμα 6.51 Ποσοστό LOS για τη UAC ζώνη -15 km
- Σχήμα 6.52 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη -15 km
- Σχήμα 6.53 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη -15 km
- Σχήμα 6.54 Ποσοστό LOS για τη UAC ζώνη -15 km
- Σχήμα 6.55 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη -15 km
- Σχήμα 6.56 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη -15 km
- Σχήμα 6.57 Ποσοστό LOS για τη UAC ζώνη -15 km
- Σχήμα 6.58 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη -15 km
- Σχήμα 6.59 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη -15 km
- Σχήμα 6.60 Ποσοστό LOS για τη UAC ζώνη -15 km
- Σχήμα 6.61 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη -15 km
- Σχήμα 6.62 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη -15 km
- Σχήμα 6.63 Ραδιοκάλυψη της Ελλάδας στα 25 km
- Σχήμα 6.64 Ποσοστό LOS για τη UAC ζώνη - 25 km
- Σχήμα 6.65 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη - 25 km
- Σχήμα 6.66 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη - 25 km
- Σχήμα 6.67 Ποσοστό LOS για τη UAC ζώνη - 25 km
- Σχήμα 6.68 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη - 25 km
- Σχήμα 6.69 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη - 25 km
- Σχήμα 6.70 Ποσοστό LOS για τη UAC ζώνη - 25 km
- Σχήμα 6.71 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη - 25 km
- Σχήμα 6.72 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη - 25 km
- Σχήμα 6.73 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη - 25 km
- Σχήμα 6.74 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη - 25 km
- Σχήμα 7.1 Πλατφόρμα στα 21 km πάνω από την Αθήνα
- Σχήμα 7.2 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα 23 (21 km – UAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.3 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (21 km – UAC -2000 kbps)
- Σχήμα 7.4 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (21 km – SAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.5 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (21 km – SAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.6 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (21 km – RAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.7 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (21 km – RAC - 2000 kbps)

- Σχήμα 7.8 Πλατφόρμα στα 21 km πάνω από τη Θεσσαλονίκη
- Σχήμα 7.9 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλονίκη (21 km – UAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.10 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλονίκη (21 km – UAC -2000 kbps)
- Σχήμα 7.11 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλονίκη (21 km – SAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.12 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλονίκη (21 km – SAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.13 Πλατφόρμα στα 21 km πάνω από την Πάτρα
- Σχήμα 7.14 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Πάτρα (21 km – UAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.15 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Πάτρα (21 km – UAC -2000 kbps)
- Σχήμα 7.16 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Πάτρα (21 km – SAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.17 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Πάτρα (21 km – SAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.18 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Πάτρα (21 km – RAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.19 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Πάτρα (21 km – RAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.20 Πλατφόρμα στα 21 km πάνω από το Ηράκλειο
- Σχήμα 7.21 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Ηράκλειο (21 km – UAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.22 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Ηράκλειο (21 km – UAC -2000 kbps)
- Σχήμα 7.23 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Ηράκλειο (21 km – SAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.24 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Ηράκλειο (21 km – SAC -2000 kbps)
- Σχήμα 7.25 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Ηράκλειο (21 km – RAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.26 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Ηράκλειο (21 km – RAC -2000 kbps)
- Σχήμα 7.27 Πλατφόρμα στα 21 km πάνω από την Ανατολική Μακεδονία
- Σχήμα 7.28 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Ανατολική Μακεδονία (21 km – UAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.29 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Ανατολική Μακεδονία (21 km – UAC -2000 kbps)
- Σχήμα 7.30 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Ανατολική Μακεδονία (21 km – SAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.31 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Ανατολική Μακεδονία (21 km – SAC -2000 kbps)
- Σχήμα 7.32 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Ανατολική Μακεδονία (21 km – RAC - 384 kbps)

- Σχήμα 7.33 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Ανατολική Μακεδονία (21 km – RAC -2000 kbps)
- Σχήμα 7.34 Πλατφόρμα στα 21 km πάνω από τη Θεσσαλία και την Ήπειρο
- Σχήμα 7.35 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλία και την Ήπειρο (21 km – UAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.36 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλία και την Ήπειρο (21 km – SAC -2000 kbps)
- Σχήμα 7.37 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλία και την Ήπειρο (21 km – SAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.38 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλία και την Ήπειρο (21 km – UAC -2000 kbps)
- Σχήμα 7.39 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλία και την Ήπειρο (21 km – RAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.40 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλία και την Ήπειρο (21 km – RAC -2000 kbps)
- Σχήμα 7.41 Πλατφόρμα στα 21 km πάνω από τις Κυκλάδες
- Σχήμα 7.42 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τις Κυκλάδες (21 km – UAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.43 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τις Κυκλάδες (21 km – UAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.44 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τις Κυκλάδες (21 km – SAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.45 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τις Κυκλάδες (21 km – SAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.46 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τις Κυκλάδες (21 km – RAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.47 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τις Κυκλάδες (21 km – RAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.48 Πλατφόρμα στα 15 km πάνω από την Αθήνα
- Σχήμα 7.49 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (15 km – UAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.50 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (15 km – UAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.51 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (15 km – SAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.52 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (15 km – SAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.53 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (15 km – RAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.54 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (15 km – RAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.55 Πλατφόρμα στα 15 km πάνω από τη Θεσσαλονίκη
- Σχήμα 7.56 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλονίκη (15 km - UAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.57 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλονίκη (15 km - UAC - 2000 kbps)

- Σχήμα 7.58 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλονίκη (15 km - SAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.59 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλονίκη (15 km - SAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.60 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλονίκη (15 km - RAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.61 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλονίκη (15 km - RAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.62 Πλατφόρμα στα 15 km πάνω από την Πάτρα
- Σχήμα 7.63 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Πάτρα (15 km - UAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.64 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Πάτρα (15 km - UAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.65 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Πάτρα (15 km - SAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.66 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Πάτρα (15 km - SAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.67 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Πάτρα (15 km - RAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.68 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Πάτρα (15 km - RAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.69 Πλατφόρμα στα 15 km πάνω από το Ηράκλειο
- Σχήμα 7.70 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Ηράκλειο (15 km - UAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.71 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Ηράκλειο (15 km - UAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.72 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Ηράκλειο (15 km - SAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.73 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Ηράκλειο (15 km - SAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.74 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Ηράκλειο (15 km - RAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.75 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Ηράκλειο (15 km - RAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.76 Πλατφόρμα στα 15 km πάνω από την Ανατολική Μακεδονία
- Σχήμα 7.77 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Ανατολική Μακεδονία (15 km - UAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.78 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Ανατολική Μακεδονία (15 km - UAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.79 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Ανατολική Μακεδονία (15 km - SAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.80 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Ανατολική Μακεδονία (15 km - SAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.81 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Ανατολική Μακεδονία (15 km - RAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.82 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την

- Ανατολική Μακεδονία (15 km - RAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.83 Πλατφόρμα στα 15 km πάνω από τη Βορειοδυτική Ελλάδα
- Σχήμα 7.84 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Βορειοδυτική Ελλάδα (15 km - UAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.85 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Βορειοδυτική Ελλάδα (15 km - UAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.86 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Βορειοδυτική Ελλάδα (15 km - SAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.87 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Βορειοδυτική Ελλάδα (15 km - SAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.88 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Βορειοδυτική Ελλάδα (15 km - RAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.89 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Βορειοδυτική Ελλάδα (15 km - RAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.90 Πλατφόρμα στα 15 km πάνω από τη Θεσσαλία
- Σχήμα 7.91 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλία (15 km - UAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.92 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλία (15 km - UAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.93 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλία (15 km - SAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.94 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλία (15 km - SAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.95 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλία (15 km - RAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.96 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλία (15 km - RAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.97 Πλατφόρμα στα 15 km πάνω από τη Νότια Πελοπόννησο
- Σχήμα 7.98 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Νότια Πελοπόννησο (15 km - UAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.99 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Νότιο Πελοπόννησο (15 km - UAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.100 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Νότια Πελοπόννησο (15 km - SAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.101 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Νότιο Πελοπόννησο (15 km - SAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.102 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Νότια Πελοπόννησο (15 km - RAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.103 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Νότιο Πελοπόννησο (15 km - RAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.104 Πλατφόρμα στα 15 km πάνω από το Βορειοανατολικό Αιγαίο
- Σχήμα 7.105 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Βορειοανατολικό Αιγαίο (15 km - UAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.106 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Βορειοανατολικό Αιγαίο (15 km - UAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.107 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το

- Βορειοανατολικό Αιγαίο (15 km - SAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.108 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Βορειοανατολικό Αιγαίο (15 km - SAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.109 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Βορειοανατολικό Αιγαίο (15 km - RAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.110 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Βορειοανατολικό Αιγαίο (15 km - RAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.111 Πλατφόρμα στα 15 km πάνω από τα Δωδεκάνησα και τις Κυκλάδες
- Σχήμα 7.112 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τα Δωδεκάνησα και τις Κυκλάδες (15 km - UAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.113 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Δωδεκάνησα και τις Κυκλάδες (15 km - UAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.114 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τα Δωδεκάνησα και τις Κυκλάδες (15 km - SAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.115 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Δωδεκάνησα και τις Κυκλάδες (15 km - SAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.116 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τα Δωδεκάνησα και τις Κυκλάδες (15 km - RAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.117 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Δωδεκάνησα και τις Κυκλάδες (15 km - RAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.118 Πλατφόρμα στα 25 km πάνω από την Αθήνα
- Σχήμα 7.119 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (25 km - UAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.120 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (25 km - UAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.121 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (25 km - SAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.122 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (25 km - SAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.123 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (25 km - RAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.124 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (25 km - RAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.125 Πλατφόρμα στα 25 km πάνω από τη Βορειοανατολική Ελλάδα
- Σχήμα 7.126 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Βορειοανατολική Ελλάδα (25 km - UAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.127 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Βορειοανατολική Ελλάδα (25 km - UAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.128 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Βορειοανατολική Ελλάδα (25 km - SAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.129 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Βορειοανατολική Ελλάδα (25 km - SAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.130 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Βορειοανατολική Ελλάδα (25 km - RAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.131 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Βορειοανατολική Ελλάδα (25 km - RAC - 2000 kbps)

- Σχήμα 7.132 Πλατφόρμα στα 25 km πάνω από την Κεντρική και Βορειοδυτική Ελλάδα
- Σχήμα 7.133 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Κεντρική και Βορειοδυτική Ελλάδα (25 km - UAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.134 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Κεντρική και Βορειοδυτική Ελλάδα (25 km - UAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.135 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Κεντρική και Βορειοδυτική Ελλάδα (25 km - SAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.136 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Κεντρική και Βορειοδυτική Ελλάδα (25 km - SAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.137 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Κεντρική και Βορειοδυτική Ελλάδα (25 km - RAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.138 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Κεντρική και Βορειοδυτική Ελλάδα (25 km - RAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.139 Πλατφόρμα στα 25 km πάνω από την Κρήτη και τα νησιά του Αιγαίου
- Σχήμα 7.140 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Κρήτη και τα νησιά του Αιγαίου (25 km - SAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.141 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Κρήτη και τα νησιά του Αιγαίου (25 km - SAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.142 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Κρήτη και τα νησιά του Αιγαίου (25 km - RAC - 384 kbps)
- Σχήμα 7.143 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Κρήτη και τα νησιά του Αιγαίου (25 km - RAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.144 Πλατφόρμα στα 3 km πάνω από την Αθήνα
- Σχήμα 7.145 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (3 km - UAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.146 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (3 km - SAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.147 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (3 km - RAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.148 Πλατφόρμα στα 3 km πάνω από τη Θεσσαλονίκη
- Σχήμα 7.149 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλονίκη (3 km - UAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.150 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλονίκη (3 km - SAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.151 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλονίκη (3 km - RAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.152 Πλατφόρμα στα 3 km πάνω από το Ηράκλειο
- Σχήμα 7.153 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Ηράκλειο (3 km - UAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.154 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Ηράκλειο (3 km - SAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.155 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Ηράκλειο (3 km - RAC - 2000 kbps)
- Σχήμα 7.156 Πλατφόρμα στα 3 km πάνω από την Κεφαλλονιά

- Σχήμα 7.157 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Κεφαλλονιά (3 km – UAC -2000 kbps)
- Σχήμα 7.158 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Κεφαλλονιά (3 km – SAC -2000 kbps)
- Σχήμα 7.159 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Κεφαλλονιά (3 km – RAC -2000 kbps)
- Σχήμα 7.160 Πλατφόρμα στα 3 km πάνω από τα Γιάννενα
- Σχήμα 7.161 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τα Γιάννενα (3 km – UAC -2000 kbps)
- Σχήμα 7.162 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τα Γιάννενα (3 km – SAC -2000 kbps)
- Σχήμα 7.163 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τα Γιάννενα (3 km – SAC -2000 kbps)

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

- Πίνακας 1.1 Γωνίες ανύψωσης και αριθμός δεσμών διαφόρων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων
- Πίνακας 1.2 Σύγκριση μεταξύ στρατοσφαιρικών, δορυφορικών και ασύρματων επίγειων συστημάτων
- Πίνακας 1.3 Θερμοκρασία, κατακόρυφη κατανομή πίεσης και ατμοσφαιρική πυκνότητα
- Πίνακας 1.4 Ζώνες συχνοτήτων για επικοινωνία με HAPs
- Πίνακας 1.5 Σύγκριση μεταξύ μη επανδρωμένων αερόπλοιων, επανδρωμένων και μη επανδρωμένων αεροσκαφών
- Πίνακας 1.6 Ακτίνες ζωνών κάλυψης
- Πίνακας 1.7 Χαρακτηριστικά σταθμού πλατφόρμας
- Πίνακας 1.8 Χαρακτηριστικά τερματικών και σταθμών-διόδων
- Πίνακας 1.9 Τιμές των παραμέτρων για τον υπολογισμό του L_N
- Πίνακας 3.1 Αντιστοιχία μεταξύ φάσης και ψηφιακής πληροφορίας στην QPSK διαμόρφωση
- Πίνακας 3.2 BER διαφόρων σχημάτων διαμόρφωσης
- Πίνακας 4.1 Τηλεπικοινωνιακά χαρακτηριστικά επίγειου πομπού
- Πίνακας 4.2 Σύνοψη απωλειών άνω ζεύξης
- Πίνακας 4.3 Τηλεπικοινωνιακά χαρακτηριστικά δέκτη πλατφόρμας
- Πίνακας 4.4 Στοιχεία πομπού πλατφόρμας
- Πίνακας 4.5 Σύνοψη απωλειών κάτω ζεύξης
- Πίνακας 4.6 Τηλεπικοινωνιακά χαρακτηριστικά επίγειου δέκτη (10 Mbps)
- Πίνακας 4.7 Τηλεπικοινωνιακά χαρακτηριστικά επίγειου δέκτη (2.048 Mbps)
- Πίνακας 6.1 Κατώφλι απωλειών για τα 21 km
- Πίνακας 6.2 Κατώφλι απωλειών για τα 15 km
- Πίνακας 6.3 Κατώφλι απωλειών για τα 25 km
- Πίνακας 7.1 Υπηρεσίες για ρυθμούς μετάδοσης από 256 kbps έως 384 kbps
- Πίνακας 7.2 Υπηρεσίες για ρυθμούς μετάδοσης από 385 kbps έως 2000 kbps
- Πίνακας 7.3 Υπηρεσίες για ρυθμούς μετάδοσης μεγαλύτερους από 2 mbps

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

- Διάγραμμα 1.1 Συνθήκες στην ατμόσφαιρα
- Διάγραμμα 1.2 Μέση ταχύτητα ανέμου σε διάφορα ύψη
- Διάγραμμα 1.3 Εξασθένιση σήματος, λόγω απορρόφησης από τα αέρια της ατμόσφαιρας, για διάφορες συχνότητες
- Διάγραμμα 1.4 Απόσβεση του σήματος, λόγω βροχής, στις συχνότητες των 28 και των 48 GHz για διάφορες τιμές υπέρβασης του χρόνου λειτουργίας
- Διάγραμμα 1.5 Διάγραμμα ακτινοβολίας κεραίας σταθμού πλατφόρμας
- Διάγραμμα 1.6 Ηλιακή ενέργεια για διάφορες χρονικές περιόδους ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος λειτουργίας της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας
- Διάγραμμα 2.1 Φασματική πυκνότητα ισχύος του λευκού θορύβου
- Διάγραμμα 4.1 Ειδική απόσβεση λόγω οξυγόνου και υδρατμών
- Διάγραμμα 4.2 Μεταβολή μήκους εντός βροχής συναρτήσει της γωνίας ανύψωσης και του ύψους βροχής
- Διάγραμμα 4.3 Ειδική απόσβεση συναρτήσει της συχνότητας και του ρυθμού βροχόπτωσης
- Διάγραμμα 5.1 Διάγραμμα ακτινοβολίας κεραίας επίγειου σταθμού για την άνω ζεύξη
- Διάγραμμα 5.2 Διάγραμμα ακτινοβολίας κεραίας πλατφόρμας για την άνω ζεύξη
- Διάγραμμα 6.1 Απώλεια περίθλασης αιχμής συναρτήσει του λόγου h/h_1
- Διάγραμμα 6.2 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών λόγω έλλειψης οπτικής επαφής μεταξύ της πλατφόρμας που βρίσκεται 21 km πάνω από την Πάτρα και του επίγειου τερματικού στην RAC ζώνη
- Διάγραμμα 6.3 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών λόγω έλλειψης οπτικής επαφής μεταξύ της πλατφόρμας που βρίσκεται 21 km πάνω από την Κεντρική και ΒΔ Ελλάδα και του επίγειου τερματικού στην RAC ζώνη
- Διάγραμμα 6.4 Αθροιστική συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών περίθλασης μεταξύ των πλατφορμών και των επίγειων σταθμών
- Διάγραμμα 6.5 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών λόγω έλλειψης οπτικής επαφής μεταξύ της πλατφόρμας που βρίσκεται 15 km πάνω από τη Θεσσαλονίκη και του επίγειου τερματικού στην SAC ζώνη
- Διάγραμμα 6.6 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών λόγω έλλειψης οπτικής επαφής μεταξύ της πλατφόρμας που βρίσκεται 15 km πάνω από τη Θεσσαλονίκη και του επίγειου τερματικού στην RAC ζώνη
- Διάγραμμα 6.7 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών λόγω έλλειψης οπτικής επαφής μεταξύ της πλατφόρμας που βρίσκεται 15 km πάνω από την Πάτρα και του επίγειου τερματικού στην UAC ζώνη
- Διάγραμμα 6.8 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών λόγω έλλειψης οπτικής επαφής μεταξύ της πλατφόρμας που βρίσκεται 15 km πάνω από την Πάτρα και του επίγειου τερματικού στην SAC ζώνη
- Διάγραμμα 6.9 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών λόγω έλλειψης

- οπτικής επαφής μεταξύ της πλατφόρμας που βρίσκεται 15 km πάνω από την Πάτρα και του επίγειου τερματικού στην RAC ζώνη
- Διάγραμμα 6.10 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών λόγω έλλειψης οπτικής επαφής μεταξύ της πλατφόρμας που βρίσκεται 15 km πάνω από τη Βορειοδυτική Ελλάδα και του επίγειου τερματικού στην UAC ζώνη
- Διάγραμμα 6.11 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών λόγω έλλειψης οπτικής επαφής μεταξύ της πλατφόρμας που βρίσκεται 15 km πάνω από τη Βορειοδυτική Ελλάδα και του επίγειου τερματικού στην SAC ζώνη
- Διάγραμμα 6.12 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών λόγω έλλειψης οπτικής επαφής μεταξύ της πλατφόρμας που βρίσκεται 15 km πάνω από τη Βορειοδυτική Ελλάδα και του επίγειου τερματικού στην RAC ζώνη
- Διάγραμμα 6.13 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών λόγω έλλειψης οπτικής επαφής μεταξύ της πλατφόρμας που βρίσκεται 15 km πάνω από την κεντρική Ελλάδα και του επίγειου τερματικού στην RAC ζώνη
- Διάγραμμα 6.14 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών λόγω έλλειψης οπτικής επαφής μεταξύ της πλατφόρμας που βρίσκεται 15 km πάνω από τη Νότια Πελοπόννησο και του επίγειου τερματικού στην RAC ζώνη
- Διάγραμμα 6.15 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών λόγω έλλειψης οπτικής επαφής μεταξύ της πλατφόρμας που βρίσκεται 15 km πάνω από τα νησιά του Ανατολικού Αιγαίου και του επίγειου τερματικού στην SAC ζώνη
- Διάγραμμα 6.16 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών λόγω έλλειψης οπτικής επαφής μεταξύ της πλατφόρμας που βρίσκεται 15 km πάνω από τα νησιά του Ανατολικού Αιγαίου και του επίγειου τερματικού στην RAC ζώνη
- Διάγραμμα 6.17 Αθροιστική συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών περίθλασης μεταξύ των πλατφορμών και των επίγειων σταθμών (UAC ζώνη)
- Διάγραμμα 6.18 Αθροιστική συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών περίθλασης μεταξύ των πλατφορμών και των επίγειων σταθμών (SAC ζώνη)
- Διάγραμμα 6.19 Αθροιστική συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών περίθλασης μεταξύ των πλατφορμών και των επίγειων σταθμών (RAC ζώνη)
- Διάγραμμα 6.20 Αθροιστική συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών περίθλασης μεταξύ των πλατφορμών και των επίγειων σταθμών (RAC ζώνη)
- Διάγραμμα 6.21 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών λόγω έλλειψης οπτικής επαφής μεταξύ της πλατφόρμας που βρίσκεται 25 km πάνω από την Κεντρική και Βορειοδυτική Ελλάδα και του επίγειου τερματικού στην RAC ζώνη

Διάγραμμα 7.135 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου
Διάγραμμα 7.136 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου
Διάγραμμα 7.137 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου
Διάγραμμα 7.138 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου
Διάγραμμα 7.139 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου
Διάγραμμα 7.140 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΤΡΑΤΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΠΛΑΤΦΟΡΜΩΝ

1.1 Ιστορική αναδρομή

Η εξέλιξη του ανθρώπου προσαρμόζει τις απαιτήσεις και τις ανάγκες του. Στα πρώτα χρόνια της ύπαρξης του πάλευε για την επιβίωση προσπαθώντας να αξιοποιήσει τις πρώτες ύλες της φύσης (ξύλο, φωτιά, πέτρα, σίδηρο). Αργότερα η περαιτέρω εξέλιξη αύξησε τις απαιτήσεις σε ενέργεια και έτσι ο άνθρωπος αφοσιώθηκε στο να καλύψει τις νέες ανάγκες του, δηλαδή την εύρεση πόρων για την παραγωγή ενέργειας, πράγμα που συνεχίζει να τον απασχολεί και θα συνεχίσει για καιρό ακόμα μιας και οι ανάγκες της ανθρωπότητας σε ενέργεια καθημερινά αυξάνονται. Όμως η ραγδαία εξέλιξη και οι ρυθμοί της ανθρώπινης ζωής που συνεχώς μεγαλώνουν έχουν οδηγήσει την ανθρωπότητα στο σημείο που βρισκόμαστε σήμερα και που από τους ειδικούς χαρακτηρίζεται ως η εποχή της πληροφορίας. Πλέον πολύ μεγάλο ρόλο στη ζωή μας παίζει η πληροφορία και το πόσο γρήγορα αυτή μεταδίδεται. Για το λόγο αυτό παρατηρείται μια τεράστια ανάπτυξη στον τομέα των τηλεπικοινωνιών, καθώς επιδιώκεται η μετάδοση της πληροφορίας όσο το δυνατόν πιο γρήγορα και σε οποιοδήποτε σημείο του πλανήτη.

Η εφεύρεση του τηλέγραφου, στα τέλη του 18^{ου} αιώνα και λίγο αργότερα του τηλεφώνου σήμανε και την αρχή της εποχής των τηλεπικοινωνιών. Η ραγδαία ανάπτυξη τους και η ευρεία αποδοχή τους από το κοινό πιστοποίησε την μεγάλη σημασία που είχαν οι τηλεπικοινωνίες για ολόκληρη την ανθρωπότητα.

Με τον καιρό όλο και περισσότερα τηλεπικοινωνιακά συστήματα έκαναν την εμφάνιση τους, ανταποκρινόμενα στις ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις για παροχή περισσότερων και πιο εξελιγμένων υπηρεσιών. Τα επίγεια ενσύρματα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα επεκτείνονταν και εξελίσσονταν συνεχώς με πολύ γρήγορους ρυθμούς, καλύπτοντας σταδιακά όλο και μεγαλύτερες περιοχές του πλανήτη. Η πραγματοποίηση των πρώτων ασύρματων εκπομπών έδωσε μια άλλη έννοια στον όρο τηλεπικοινωνίες, αφού πλέον οι υπηρεσίες που μπορούσαν να παρέχουν τα επικοινωνιακά συστήματα δεν περιορίζονταν μόνο στην διαχείριση της φωνής, αλλά συμπεριλάμβανε και ευρείας εκπομπής ψυχαγωγικές υπηρεσίες, όπως το ραδιόφωνο και την τηλεόραση.

Η πραγματική ώθηση, όμως, στις τηλεπικοινωνίες δόθηκε με το τέλος του Β' Παγκοσμίου Πολέμου. Η χρησιμοποίηση των μικροκυμάτων και η τοποθέτηση δορυφόρων σε τροχιά γύρω από την Γη ήταν το επιστέγασμα αυτής της ραγδαίας εξέλιξης, που είχε σαν αποτέλεσμα την δημιουργία νέων, άκρως εξελιγμένων υπηρεσιών.

Οι απαιτήσεις, σε ολόκληρο τον κόσμο, για παροχή υπηρεσιών τηλεπικοινωνίας δεν σταματούν να αυξάνονται και συνεπώς, η τεχνολογία αναζητάει

καινούργιες τεχνικές για να μπορέσει να τις ικανοποιήσει. Νέες εφαρμογές στις τηλεπικοινωνίες παρουσιάζονται συνεχώς, δίνοντας το έναυσμα για την ανάπτυξη καινούργιων αρχιτεκτονικών, προτύπων και ολοένα πιο εξελιγμένων συστημάτων. Στις μέρες μας που η ζήτηση για υπηρεσίες ευρείας ζώνης είναι αυξημένη, κρίνεται απαραίτητη η ταυτόχρονη μετάδοση φωνής, δεδομένων καθώς και η μετάδοση εικόνας και βίντεο,. Τώρα όμως ακόμη και από χρήστες οι οποίοι δεν είναι απαραίτητα σταθεροί αλλά κινούνται. Τα καλώδια δεν αποτελούν πλέον τα δίκτυα αλλά υπάρχουν τα ασύρματα ράδιο-δίκτυα τα οποία προσφέρουν πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες στη μετάδοση όλων των παραπάνω.

Οι σύγχρονοι χρήστες απαιτούν υψηλής χωρητικότητας υπηρεσίες πολυμέσων, internet υψηλών ταχυτήτων, εξελιγμένη ποιότητα επικοινωνίας από και προς κινητά τερματικά. Ο ασύρματος τρόπος μετάδοσης συγκεντρώνει σήμερα το μεγαλύτερο ενδιαφέρον, καθώς μπορεί να προσφέρει υπηρεσίες ευρείας ζώνης απ' ευθείας στους καταναλωτές. Συστήματα σταθερής ασύρματης πρόσβασης FWA (fixed wireless access) εγκαθίστανται για να παρέχουν τηλεφωνία σε επιχειρήσεις και οικιακούς χρήστες. Ευρυζωνικά ασύρματα συστήματα BWA (broadband wireless access) σχεδιάζονται για να καλύψουν τις ανάγκες multimedia εφαρμογών, σε ρυθμούς τουλάχιστον 2 Mbps, και να υλοποιήσουν το λεγόμενο SOHO (small office / home office). Ο περιορισμός του διατιθέμενου ραδιοφάσματος από τη μια μεριά και ο ραγδαίος πολλαπλασιασμός των χρηστών από την άλλη, καθιστούν αναπόφευκτη τη χρήση κάποιας στρατηγικής επαναχρησιμοποίησης συχνότητας, που βασίζεται συνήθως πάνω σε μια σταθερή κυψελωτή δομή. Ο κύριος στόχος της αυξημένης χωρητικότητας επιβάλλει τη διαρκή μείωση του μεγέθους των κυψελών, οδηγώντας σε μικρο- ή πίκo- κυψέλες σε περιοχές όπου η πυκνότητα των χρηστών είναι μεγάλη.

Έτσι όμως αυξάνεται ολοένα ο αριθμός των απαιτούμενων σταθμών βάσης, μαζί με το κόστος υλοποίησης του συστήματος. Ταυτόχρονα γεννώνται σοβαρές ανησυχίες για τους πιθανούς κινδύνους υγείας και την επιβάρυνση του περιβάλλοντος από την ακτινοβολία των επίγειων σταθμών.

Οι σύγχρονες τάσεις οδηγούν παράλληλα στη χρησιμοποίηση υψηλών συχνοτήτων, που δεν υποφέρουν ακόμα από μεγάλο "συνωστισμό" υπηρεσιών και προσφέρουν σημαντικό εύρος ζώνης. Οι περιοχές των 28 GHz και 38 GHz ή ακόμα υψηλότερες ζώνες είναι διατεθειμένες σε ευρυζωνικές υπηρεσίες, υπηρεσίες LMDS (Local Multipoint Distribution Services) και MVDS (Multipoint Video Distribution Services), που περιλαμβάνουν internet υψηλής ταχύτητας, τηλεφωνία, τηλεόραση, βίντεο υπό αίτηση, εκπομπές ήχου προς το ευρύ κοινό, κλπ.

Ωστόσο τα χιλιοστομετρικά μήκη κύματος που αντιστοιχούν στις παραπάνω συχνότητες έχουν δυο βασικά μειονεκτήματα: (α) απαιτούν διάδοση οπτικής επαφής LOS (line-of-sight) (β) υπόκεινται σε απώλειες λόγω καιρικών φαινομένων, ιδιαίτερωσ αποσβέσεις λόγω βροχής.

Οι δορυφορικές επικοινωνίες αποτελούν μια λύση στο πρόβλημα διάδοσης οπτικής επαφής και παρέχουν σήμερα πληθώρα υπηρεσιών ευρείας ζώνης σε πολλούς χρήστες. Εν τούτοις η επίδοση των γεωστατικών δορυφόρων (geostationary earth orbit satellites, GEO) περιορίζεται από το μεγάλο ύψος της τροχιάς τους που προκαλεί σημαντική εξασθένηση στο μεταδιδόμενο σήμα. Ο ίδιος παράγοντας συντελεί στην καθυστέρηση διάδοσης των δορυφορικών ζεύξεων, φαινόμενο που επηρεάζει όχι μόνο τη μετάδοση φωνής αλλά και κάποια πρωτόκολλα δεδομένων.

Παράλληλα οι φυσικοί περιορισμοί στις διαστάσεις της κεραίας του δορυφορικού αναμεταδότη οδηγούν σε ένα κατώτατο όριο του μεγέθους των κυψελών που προβάλλονται στη γήινη επιφάνεια, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η βέλτιστη επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων. Η επικοινωνία μέσω δορυφόρων χαμηλής τροχιάς (low altitude earth orbit satellites, LEO) παρακάμπτει ορισμένους από τους παραπάνω περιορισμούς, ωστόσο υποφέρει από προβλήματα έγκαιρης διαπομπής τόσο μεταξύ των κυψελών όσο και μεταξύ των δορυφόρων. Η ανάγκη ύπαρξης μεγάλου αριθμού δορυφορικών αναμεταδοτών LEO προκειμένου να παρασχεθεί συνεχής κάλυψη σε μια περιοχή αυξάνει σημαντικά την πολυπλοκότητα και το οικονομικό φορτίο και συνεπώς μειώνει την εμπορική επιτυχία μιας τέτοιας λύσης.

Έτσι παραμένει πάντα επίκαιρη η αναζήτηση πρωτοποριακών μεθόδων και νέων τεχνολογιών στον τομέα της ασύρματης μετάδοσης ευρείας ζώνης. Σε μια από τις τελευταίες συνεδριάσεις της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών προτάθηκε μια καινούργια τεχνολογία για την παροχή τέτοιων υπηρεσιών. Αυτή η καινούργια τεχνολογία έχει την ονομασία «πλατφόρμα μεγάλου ύψους» ή αλλιώς στρατοσφαιρική πλατφόρμα.

Οι στρατοσφαιρικές τηλεπικοινωνιακές πλατφόρμες (High Altitude Platforms, HAPs) αντιπροσωπεύουν μια υβριδική τεχνολογική προσέγγιση στο πρόβλημα της ευρυζωνικής επικοινωνίας, καθώς συνδυάζουν όλα τα πλεονεκτήματα των επίγειων και δορυφορικών συστημάτων. Οι εναέριες πλατφόρμες λειτουργούν σε σχεδόν στατική θέση σε υψόμετρο ανάμεσα στα 15 έως 30 km από την επιφάνεια της γης. Η μοναδική θέση από την οποία λειτουργούν προσφέρει σημαντικό πλεονέκτημα προϋπολογισμού ζεύξης και αμελητέες καθυστερήσεις διάδοσης του ραδιοσήματος σε σύγκριση με τα δορυφορικά συστήματα καθώς και αρκετά μεγαλύτερη περιοχή κάλυψης σε σύγκριση με τα επίγεια συστήματα. Επιπλέον παρέχουν μεγαλύτερου μήκους ζεύξεις σημείο προς σημείο και σημείου προς πολλαπλά σημεία με μικρότερη εξασθένιση βροχής σε σύγκριση με τις επίγειες ζεύξεις. Οι εν λόγω εναέριες πλατφόρμες δρουν ως σταθμοί βάσης ή κόμβοι αναμετάδοσης και είναι τοποθετημένες σε αεροπλάνα ή μπαλόνια, επανδρωμένα ή μη. Είναι ψευδο – γεωστατικές και μπορούν να θεωρηθούν είτε ως κεραίες πολύ μεγάλου ύψους είτε ως δορυφόροι πολύ χαμηλής τροχιάς, προσφέροντας κάλυψη σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές αλλά και σε ευρύτερες γεωγραφικές εκτάσεις.

Τα αερόστατα, στα οποία στηρίζεται κατά ένα μεγάλο ποσοστό η τεχνολογία των HAPs, έχουν ιστορία πολλών αιώνων που ξεκινά από την αρχαία Κίνα. Στη Δύση, τέτοιου είδους μπαλόνια ζεστού αέρα έκαναν την εμφάνισή τους αρχικά στη Γαλλία το 1783. Η ιδέα για τη δημιουργία των HAPs ανήκει στους αδερφούς Montgolfier ενώ στα 1900 ο Γερμανός αξιωματικός Ferdinand Zeppelin ανέπτυξε ένα είδος άκαμπτου αερόστατου, ελαφρύτερου του αέρα και έτσι πραγματοποιήθηκε η πρώτη πτήση αερόπλοιου με κινητήρα, του θρυλικού Zeppelin LZ1. Στις αρχές του 20ου αιώνα αναπτύχθηκε η τεχνολογία των αερόπλοιων ηλίου (He) και το 1932 το πρώτο επανδρωμένο αερόστατο πέταξε ως τη στρατόσφαιρα σε υψόμετρο 16.940m.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι μια πρώιμη μορφή παροχής επικοινωνιών από τη στρατόσφαιρα έλαβε χώρα πριν το 1962 που τέθηκε σε τροχιά ο δορυφόρος Telstar. Μόλις στα 1960, τηλεφωνήματα μεγάλων αποστάσεων έγιναν μέσω της ανάκλασης σημάτων από το Echo, ένα γιγαντιαίο μπαλόνι που είχε σκοπό την παθητική αναμετάδοση εκπομπών από τα εργαστήρια Bell στο Crawford Hill.

Μολονότι η τεχνολογία των αερόστατων δεν είναι καινούργια, η εφαρμογή τους για τηλεπικοινωνιακούς σκοπούς ήταν μέχρι σήμερα ιδιαίτερα περιορισμένη. Οι βασικότερες δυσκολίες στη χρήση τους προέρχονταν από την αδυναμία σταθερότητας και ικανοποιητικού ελέγχου θέσης για μεγάλες χρονικές περιόδους σε περιβάλλον με ανέμους.

Τα HAPs προβλέπεται να λειτουργήσουν στη στρατόσφαιρα, μεταξύ 15 και 25km πάνω από το έδαφος, υψόμετρο στο οποίο οι ροές των ανέμων είναι συνήθως ήπιες και σταθερές για τις περισσότερες περιοχές της υφελίου. Ο συνδυασμός της εξελισσόμενης τεχνολογίας των αερόπλοιων, (που περιλαμβάνει μεταξύ άλλων βελτιωμένα υλικά κατασκευής και ηλιακές κυψέλες), και της αυξανόμενης ζήτησης για νέες υπηρεσίες καθιστούν τα HAPs μια εφαρμόσιμη και άκρως ελκυστική εναλλακτική πρόταση. Σημαντικές εφαρμογές τους είναι οι υψηλής ταχύτητας και ευρείας ζώνης ψηφιακές επικοινωνίες (interactive video, broadcasting, multimedia), οι κινητές επικοινωνίες, η τηλεπισκόπηση, η παρατήρηση του γήινου περιβάλλοντος και η συλλογή περιβαλλοντικών δεδομένων. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφέρουμε ότι η συστηματική μελέτη γύρω από την τεχνολογία των HAPs ξεκίνησε ουσιαστικά το 1997, όταν οι Goran M.Djuknic, John Freidenfelds και Yuriy Okunev έγραψαν ένα άρθρο με τίτλο “Establishing Wireless Communications Services via High Altitude Aeronautical Platforms: A Concept Whose Time Has Come?” Το άρθρο αυτό, που δημοσιεύτηκε από την IEEE το Σεπτέμβριο του ίδιου έτους, σηματοδότησε την έξαρση του ενδιαφέροντος γύρω από την πρωτοποριακή ιδέα της παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών από τη στρατόσφαιρα. Έδωσε παράλληλα το έναυσμα για τη διεξαγωγή πλήθους μελετών από την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα αλλά και τη διεθνή βιομηχανία, ώστε σταδιακά η ιδέα να γίνει πράξη και να τεθεί σε εφαρμογή.

1.2 Δορυφορικά, Ασύρματα επίγεια και Στρατοσφαιρικά Συστήματα

1.2.1 Η εξέλιξη των δορυφορικών επικοινωνιών και η γέννηση των στρατοσφαιρικών συστημάτων

Με την εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου, του Sputnik, το 1957 και την είσοδό του σε τροχιά γύρω από την Γη, ξεκίνησε μια σειρά εξελίξεων πάνω στην ανάπτυξη και τον σχεδιασμό των δορυφορικών συστημάτων και των υπηρεσιών που αυτοί παρείχαν, όπως οι υπερατλαντικές και διεθνείς επικοινωνίες, οι υπηρεσίες για στρατιωτικούς σκοπούς και οι υπηρεσίες ψυχαγωγίας και εξερευνητικών.

Η ανάπτυξη των δορυφορικών συστημάτων κορυφώθηκε την περίοδο του Ψυχρού Πολέμου. Για πάνω από τρεις δεκαετίες δαπανήθηκαν τεράστια ποσά, τόσο από την πλευρά των Ηνωμένων Πολιτειών όσο και από την πλευρά της πρώην Σοβιετικής Ένωσης, για βελτίωση και έρευνα πάνω στα δορυφορικά συστήματα, οι

περισσότερες των οποίων εστιάζονταν σε εφαρμογές για στρατιωτικού περιεχομένου. Η αβεβαιότητα που επικρατούσε εκείνη την εποχή ώθησε ακόμα περισσότερο την βελτιστοποίηση των συστημάτων αυτών. Το κόστος της όλης επένδυσης, το οποίο ήταν δυσανάλογο με τα πραγματικά οφέλη που προσέφεραν τα δορυφορικά συστήματα, καλυπτόταν από τον φόβο που σκορπούσε η απειλή ενός καταστροφικού πυρηνικού πολέμου. Έτσι, οι κυβερνήσεις, παγκοσμίως, αναγκάζονταν να δαπανήσουν τεράστια ποσά για την διαφύλαξη της λεπτής ισορροπίας ειρηνικής συμβίωσης.

Με το τέλος της εποχής του Ψυχρού Πολέμου και την πτώση της Σοβιετικής Ένωσης, η παγκόσμια βιομηχανία διαστημικών προγραμμάτων δέχτηκε ένα ισχυρό πλήγμα ως προς την αναγκαιότητά της και σταδιακά έχασε αρκετή από την αδιαμφισβήτητη χρησιμότητά της. Η χρήση των δορυφόρων για στρατιωτικές υπηρεσίες, που ποτέ δεν σταμάτησε, δεν ήταν πλέον πρωταρχική προτεραιότητα και περιορίστηκε αρκετά, με αποτέλεσμα όλο και περισσότερο οι εφαρμογές και οι υπηρεσίες που παρείχαν οι δορυφόροι να στρέφονται για καθαρά τηλεπικοινωνιακούς σκοπούς και υπηρεσίες, όπως είναι η τηλεόραση, η τηλεφωνία, οι περιβαλλοντολογικές μελέτες και η μελέτη του διαστήματος.

Παρόλο που η δορυφορική βιομηχανία μετράει ήδη πάνω από τέσσερις δεκαετίες ζωής, οι δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι διαχειριστές των δορυφορικών συστημάτων δεν έχουν εξαλειφθεί πλήρως και ακόμα και σήμερα θεωρείται δύσκολη η επιτυχημένη εγκατάσταση, λειτουργία και η παροχή υπηρεσιών με μεγάλη διαθεσιμότητα, από τα δορυφορικά συστήματα. Επομένως, οι δορυφορικές επικοινωνίες δεν μπορούν να θεωρηθούν σαν μια σίγουρη και αξιόπιστη λύση για παροχή όλων των τύπων υπηρεσιών.

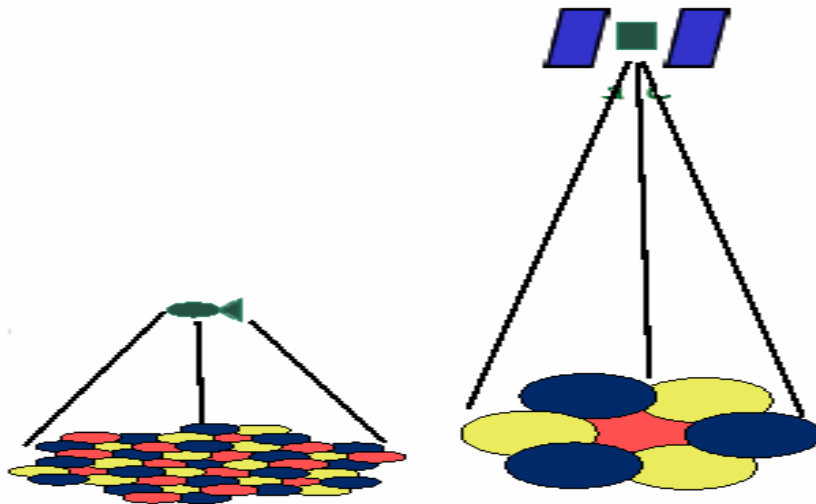
Η σκέψη της εισαγωγής στρατοσφαιρικών πλατφορμών, σε ύψη μερικών χιλιάδων μέτρων πάνω από την Γη και η παροχή τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών από αυτές, υπάρχει εδώ και αρκετό καιρό και φαντάζει σαν μια ιδιαίτερα καλή λύση, ειδικά σε περιοχές με υψηλή πυκνότητα χρηστών, όπως μητροπολιτικές πόλεις, αφού είναι δυνατό να προσφέρει υπηρεσίες άμεσα και με επιδόσεις ισάξιες με αυτές των επίγειων δικτύων, ενώ είναι, ταυτόχρονα, αρκετά πιο ευέλικτη και φθηνή επένδυση, με λιγότερους κινδύνους από αυτούς που κρύβουν τα δορυφορικά συστήματα.

1.2.2 Σύγκριση Δορυφορικών και Στρατοσφαιρικών Συστημάτων

Τόσο τα δορυφορικά όσο και τα στρατοσφαιρικά συστήματα έχουν σχεδιασθεί να λειτουργούν σε υψηλές ζώνες συχνότητας, τις μικροκυματικές συχνότητες. Σε αυτές τις συχνότητες είναι απαραίτητο να υπάρχει ζεύξη οπτικής επαφής (LOS, Line-of-Sight), απαίτηση που ικανοποιείται και από τα δύο συστήματα, εξαιτίας του μεγάλου ύψους λειτουργίας.

Τα στρατοσφαιρικά συστήματα χρησιμοποιούν την τεχνική διαχωρισμού της περιοχής κάλυψης τους σε μικρότερες περιοχές-κυψέλες, όπως γίνεται και στα δορυφορικά συστήματα. Η μόνη διαφορά είναι ότι σε ένα στρατοσφαιρικό σύστημα η περιοχή κάλυψης του μπορεί να χωρισθεί σε κυψέλες μικρότερης διαμέτρου, απ' ότι σε ένα δορυφορικό σύστημα. Αυτό επιτυγχάνεται γιατί η στρατοσφαιρική πλατφόρμα βρίσκεται σε πολύ μικρότερο ύψος πάνω από την Γη, σε σχέση με ένα δορυφόρο. Με

μικρότερη διάμετρο κυψέλης, επιτυγχάνεται μεγαλύτερη επαναχρησιμοποίηση συχνότητας το στρατοσφαιρικό σύστημα μπορεί να διαχειριστεί πιο αποδοτικά το φάσμα του, ενώ παράλληλα αυτό μπορεί να γίνει χωρίς χρήση τεράστιων διαστάσεων κεραιών, όπως συμβαίνει στα δορυφορικά συστήματα. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε πως η διάμετρος των στρατοσφαιρικών κυψελών κυμαίνεται από 1 έως 10 km, για τους LEO δορυφόρους η αντίστοιχη τιμή είναι 50 km, ενώ η κυψέλη που σχηματίζεται από γεωστατικό δορυφόρο δεν μπορεί να έχει διάμετρο μικρότερη των 400 km.



Σχήμα 1.1 Διάμετρος κυψελών στρατοσφαιρικού και δορυφορικού συστήματος

Εξαιτίας της γεωμετρίας και της αρχιτεκτονικής του συστήματος, οι γωνίες ανύψωσης των επίγειων τερματικών ως προς τις εναέριες πλατφόρμες λαμβάνουν μεγάλες τιμές που συχνά φτάνουν τις 90° . Οι γεωστατικοί δορυφόροι είναι ως επί το πλείστον ορατοί με πολύ μικρότερες γωνίες, επειδή η τροχιά τους περιορίζεται πάνω από τον ισημερινό.

Αξίζει να αναφερθεί ότι εξαιτίας του μεγάλου ύψους τροχιάς των δορυφόρων, τα μεταδιδόμενα σήματα υπόκεινται σε καθυστερήσεις που φτάνουν τα 250 με 300 msec. Οι καθυστερήσεις αυτές είναι απαγορευτικές για ευρυζωνικές interactive εφαρμογές, όπου είναι κρίσιμη η έγκαιρη λήψη των σημάτων. Τα HAPs λειτουργούν πολύ πλησιέστερα στην επιφάνεια της γης με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν αμελητέες καθυστερήσεις διάδοσης της τάξης των 0.35 msec.

Το χαμηλό ύψος της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας προσφέρει και άλλο ένα πλεονέκτημα σε σχέση με τα δορυφορικά συστήματα. Οι απώλειες ελευθέρου χώρου είναι ανάλογες του τετραγώνου της απόστασης που διανύει ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

Το σήμα από την πλατφόρμα προς τους επίγειους σταθμούς και αντίστροφα διανύει μικρότερες αποστάσεις, κατά πολλές χιλιάδες χιλιόμετρα. Το περιθώριο της ζεύξης, επομένως, μιας στρατοσφαιρικής ζεύξης είναι περίπου 34 dB καλύτερο, από ότι των δορυφόρων χαμηλής τροχιάς (LEO, Low Earth Orbit) και κατά 66 dB

καλύτερο, από ότι των γεωστατικών δορυφόρων (GEO, Geo-stationary Earth Orbit). Οι μεγάλες απώλειες ελευθέρου χώρου στα δορυφορικά συστήματα καθιστούν απαραίτητη την εκπομπή σε υψηλές στάθμες ισχύος, προκειμένου οι δέκτες να λαμβάνουν ένα ανιχνεύσιμο σήμα. Τα HAPs έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν με ασθενέστερα σήματα.

Τεχνολογία	Αστική Κάλυψη	Γωνίες ανύψωσης
Επίγειο Ασύρματο Δίκτυο	6 δέσμες ανά πόλη	μικρές
Στρατοσφαιρική Πλατφόρμα	700 δέσμες ανά πόλη	μεγάλες
Δίκτυο LEO	6 δέσμες ανά πόλη	μεγάλες
Δορυφόρος GEO	μικρές δέσμες ανά πόλη	μικρές

Πίνακας 1.1 Γωνίες ανύψωσης και αριθμός δεσμών διαφόρων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων

Επιπλέον, το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας των στρατοσφαιρικών συστημάτων είναι πολύ μικρότερο σε σχέση με αυτό των δορυφορικών συστημάτων, καθώς δεν απαιτούν μηχανισμό εκτόξευσης, ούτε βαριά επίγεια υποδομή.

Η εκτόξευση ενός δορυφόρου, καθώς και η επιτυχημένη τοποθέτησή του στην επιθυμητή τροχιά εγκυμονούν αρκετούς κινδύνους και πάρα πολλές δυσκολίες και μάλιστα αν ο δορυφόρος τοποθετηθεί σε λάθος τροχιά δεν είναι δυνατόν να γίνουν μεγάλες διορθωτικές κινήσεις για την επαναφορά του στην σωστή τροχιά. Αντίθετα οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες προσφέρουν μεγάλη ευκαμψία κατά την τοποθέτησή τους, εύκολη αλλαγή της θέσης τους και άμεση λειτουργία. Κάνουν χρήση μικρών, φθηνών τερματικών συσκευών ή ακόμα και του συμβατικού επίγειου εξοπλισμού. Ακόμα χρησιμοποιούν εναέριες κεραίες πολύ μικρότερων διαστάσεων από τα τεράστια παραβολικά κάτοπτρα που κουβαλούν οι δορυφορικοί αναμεταδότες.

Τα HAPs επαναφέρονται στη γη αρκετές φορές κατά τη διάρκεια της ζωής τους για έλεγχο, συντήρηση ή επισκευή. Η αναβάθμιση και η συντήρηση των στρατοσφαιρικών πλατφορμών είναι εύκολη υπόθεση, ειδικά στις περιπτώσεις όπου σαν πλατφόρμα χρησιμοποιείται κάποιο αεροπλάνο. Ακόμα και η αντικατάσταση μιας στρατοσφαιρικής πλατφόρμας μπορεί να γίνει σε λίγες ώρες. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η σωστή λειτουργία τους και παράλληλα γίνεται διαρκής αναβάθμιση του ωφέλιμου φορτίου.

Αντίθετα στα δορυφορικά συστήματα η αναβάθμιση τους χρειάζεται σχεδιασμό πολλών μηνών και σε πολλές περιπτώσεις είναι αδύνατη, ενώ η αντικατάσταση τους απαιτεί προσεκτικό και λεπτομερή σχεδιασμό αρκετών ετών.

Επιπλέον τα στρατοσφαιρικά συστήματα είναι συμβατά με τα περισσότερα πρωτόκολλα, όπως το TCP/IP, και δεν υποφέρουν από μεγάλους χρόνους καθυστέρησης, αφού βρίσκονται σε ύψη κατά πολλές χιλιάδες χιλιόμετρα χαμηλότερα από τους δορυφόρους. Η παροχή υπηρεσιών είναι υπόθεση λίγων ωρών, ουσιαστικά όσος χρόνος χρειάζεται μέχρι να φτάσουν στο ύψος της στρατόσφαιρας, αφού δεν απαιτείται να έχει στηθεί από πριν ένας ολόκληρος αστερισμός (constellation) από στρατοσφαιρικές πλατφόρμες, όπως χρειάζεται να γίνει με τους δορυφόρους, προτού αρχίσουν να παρέχουν υπηρεσίες. Αρκεί μια και μόνο πλατφόρμα για την διεξαγωγή των επικοινωνιών.

Οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες χαρακτηρίζονται από προσαρμοστικότητα των υπηρεσιών που παρέχουν. Η δυναμική ανάθεση πόρων και η αναπροσαρμογή των σχημάτων επαναχρησιμοποίησης συχνότητας σε πραγματικό χρόνο καθιστούν τα HAPs ιδανικά για εξυπηρέτηση περιοχών με εναλλασσόμενες απαιτήσεις κίνησης. Συγχρόνως αποτελούν ακόμα ένα συγκριτικό πλεονέκτημα σε σχέση με τα δορυφορικά συστήματα επικοινωνιών.

Αξίζει ακόμη να αναφερθεί ότι τα HAP μπορούν να εστιάσουν την κάλυψη τους ακριβώς στις περιοχές ενδιαφέροντος. Η κάλυψη σε «νεκρές» περιοχές, όπως είναι μεγάλα δάση, ωκεανοί και γενικά περιοχές όπου δεν υπάρχει ανάγκη κάλυψης, μπορεί να αποφευχθεί εύκολα, με τον κατάλληλο σχεδιασμό. Αντίστοιχη δυνατότητα για τα δορυφορικά συστήματα δεν υπάρχει.

Τα στρατοσφαιρικά συστήματα, τέλος, είναι και περισσότερο φιλικά προς το περιβάλλον, αφού όπως είπαμε δεν χρησιμοποιούν πυραύλους εκτόξευσης, ενώ παράλληλά, εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια προκειμένου να κινούνται ή να αιωρούνται στη στρατόσφαιρα.

Υπάρχουν φυσικά και σημεία στα οποία τα HAPs μειονεκτούν συγκρινόμενα με τη γνωστή πλέον και ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνολογία των δορυφόρων. Ένα από αυτά είναι η μικρή διάρκεια ζωής. Η διάρκεια ζωής των HAPs εξαρτάται από το είδος του αεροσκάφους και τα χαρακτηριστικά κατασκευής, ωστόσο στην καλύτερη περίπτωση δεν ξεπερνά τα πέντε χρόνια. Συνεπώς είναι αναγκαία η σχετικά τακτική αντικατάστασή τους. Οι δορυφόροι μπορούν να ταξιδεύουν στο διάστημα για 15 περίπου χρόνια προτού καταστραφούν.

Οι μικρές περιοχές κάλυψης που αντιστοιχούν σε κάθε πλατφόρμα αποτελεί ένα ακόμα συγκριτικό μειονέκτημα. Το ύψος των 35.784 km της γεωστατικής τροχιάς επιτρέπει στους δορυφόρους να καλύπτουν ευρείες περιοχές στη γήινη επιφάνεια. Για την εξυπηρέτηση μιας τέτοιας έκτασης από τη στρατόσφαιρα απαιτείται μεγάλος αριθμός πλατφορμών.

Ειδική μέριμνα πρέπει να ληφθεί για την παροχή ενέργειας στα HAPs σε παρατεταμένες περιόδους σκότους, πιθανώς αποθηκεύοντας εκ των προτέρων ηλιακή ενέργεια σε κατάλληλα στοιχεία. Στους δορυφόρους δεν υφίσταται ενεργειακό ζήτημα.

Τέλος, όπως κάθε νέα τεχνολογία στο ξεκίνημά της, έτσι και τα HAPs αντιμετωπίζουν ένα κλίμα δυσπιστίας και αμφισβήτησης από ένα μέρος της κοινής γνώμης. Ανησυχίες εκφράζονται ακόμα για την ασφάλεια πτήσης των αεροσκαφών

και τους κινδύνους από μια ενδεχόμενη πτώση τους. Αξίζει βέβαια να σημειώσουμε πως στη δεκαετία του '60 η τεχνολογία των δορυφόρων πέρασε από το ίδιο στάδιο και χρειάστηκαν κάποια χρόνια λειτουργίας ώσπου να ωριμάσει και να κερδίσει την αποδοχή και την εμπιστοσύνη του κόσμου.

1.2.3 Σύγκριση Επίγειων Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων και Στρατοσφαιρικών Συστημάτων HAPS

Η αναγκαιότητα της χρήσης επίγειων τηλεπικοινωνιακών σταθμών για την παροχή διαφόρων υπηρεσιών, ειδικότερα υπηρεσιών ευρείας ζώνης, οι οποίες απαιτούν υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων, κρίνεται επιτακτική μέχρι και στη σημερινή εποχή. Ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα των επίγειων σταθμών έναντι των δορυφορικών συστημάτων, είναι η δυνατότητα αυτοί να τροφοδοτούνται με όσο μεγάλα ποσά ισχύος χρειάζονται. Αντίθετα, ο περιορισμός ισχύος των δορυφορικών συστημάτων, αλλά και οι μεγάλοι χρόνοι καθυστέρησης από τους οποίους υποφέρουν οι δορυφορικές ζεύξεις, καθιστούν τα δορυφορικά συστήματα όχι μόνο ακατάλληλα, αλλά και ασύμφορα για την παροχή υπηρεσιών υψηλών απαιτήσεων.

Από την άλλη πλευρά όμως, τα επίγεια ασύρματα τηλεπικοινωνιακά συστήματα παρουσιάζουν κάποια μειονεκτήματα, σε σχέση με τα δορυφορικά συστήματα. Το σημαντικότερο είναι η ανάγκη για χρήση αναμεταδοτών ανά τακτές αποστάσεις λίγων χιλιομέτρων αφού συνήθως λόγω των παρεμβαλλόμενων εμποδίων δεν υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ πομπής και δέκτη. Το δορυφορικό σήμα, παρόλο που εξασθενεί σημαντικά από τις απώλειες ελευθέρου χώρου, μιας και οι αποστάσεις από τον δορυφόρο έως την Γη είναι πολύ μεγάλες, στην ουσία δεν επιδέχεται κάποια άλλη σημαντική απώλεια, αφού η διαδρομή μεταξύ του δορυφόρου και του επίγειου δορυφορικού σταθμού είναι ελεύθερη από φυσικά και τεχνητά εμπόδια.

Οι επίγειες ζεύξεις όμως, ιδιαίτερα σε περιοχές με μεγάλους και πυκνούς ορεινούς όγκους και λόγω της καμπυλότητας της γήινης επιφάνειας απαιτούν τη χρήση επαναληπτικών σταθμών, ώστε σε κάθε απλό τμήμα του σύνθετου επίγειου τηλεπικοινωνιακού συστήματος να εξασφαλίζεται η οπτική επαφή. Ένα τέτοιο σύνθετο σύστημα περιέχει οπωσδήποτε δύο τερματικούς σταθμούς και έναν αριθμό επαναληπτών, σε διαστήματα της τάξεως ορισμένων δεκάδων χιλιομέτρων, που ποικίλει ανάλογα με τη συχνότητα λειτουργίας. Ειδικά σε περιοχές με ορεινή μορφολογία εδάφους, όπως είναι και η Ελλάδα, η χρήση αναμεταδοτών γίνεται κάθε 30 km περίπου, στην ευνοϊκότερη περίπτωση. Επομένως κρίνεται αναγκαία η εγκατάσταση αναμεταδοτών ανά τακτά σημεία, κάτι που απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό πράγμα το οποίο, ορισμένες φορές, είναι πολύ δύσκολο να υλοποιηθεί εξαιτίας του ήδη μεγάλου αριθμού εγκατεστημένων αναμεταδοτών. Το πρόβλημα αυτό γίνεται ακόμα περισσότερο οξύ στις μεγάλες πόλεις.

Ένας τρόπος για να πετύχουμε καθαρότητα εμποδίων είναι η ανύψωση των κεραιών στους τερματικούς σταθμούς της ζεύξεως. Αυτή όμως η μέθοδος δεν είναι πρακτική σε πολλές περιπτώσεις, λόγω των εξόδων και των απωλειών που συνεπάγεται μία μακριά γραμμή τροφοδοσίας, επιπρόσθετα δε έχουμε και τα έξοδα κατασκευής του πύργου στήριξης των κεραιών.

Από την παρατήρηση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων μεταξύ των επίγειων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων και των δορυφορικών συστημάτων γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι τα σημαντικά πλεονεκτήματα των δορυφορικών συστημάτων είναι μειονεκτήματα για τα επίγεια συστήματα και το αντίστροφο. Η χρησιμοποίηση επομένως, επίγειων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων και δορυφορικών συστημάτων είναι συμπληρωματική.

Το στρατοσφαιρικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα θα μπορούσε να ειπωθεί πως είναι υβριδικό των επίγειων και των δορυφορικών τηλεπικοινωνιακών συστημάτων. Η πλατφόρμα που παρέχει την επικοινωνία βρίσκεται σε μεγάλα ύψη, αρκετά πιο ψηλά από τον ψηλότερο επίγειο σταθμό, άρα ικανοποιεί το κριτήριο για ζεύξη οπτικής επαφής, απουσία εμποδίων, με τους επίγειους τερματικούς σταθμούς του συστήματος. Οι τερματικές στρατοσφαιρικές συσκευές ανάλογα με την περιοχή λειτουργίας τους (UAC, SAC, RAC) ενδέχεται να “βλέπουν” το HAP με το οποίο επικοινωνούν με μια μεγάλη γκάμα γωνιών. Στις αστικές περιοχές οι γωνίες ανύψωσης φτάνουν τις 90° , τιμή που είναι αδύνατο να επιτευχθεί από τις επίγειες μεταδόσεις. Οι μεγάλες γωνίες ανύψωσης εξασφαλίζουν διάδοση οπτικής επαφής στα στρατοσφαιρικά κύματα, που διανύουν μια ως επί το πλείστον χωρίς εμπόδια διαδρομή από την πλατφόρμα ως τα επίγεια τερματικά. Η κατανομή των λαμβανόμενων σημάτων είναι Rice. Αν αμελήσουμε την επίδραση της βροχής, οι απώλειες ελευθέρου χώρου εξασθενούν τα σήματα ανάλογα προς το τετράγωνο της διανυόμενης απόστασης (ισοδύναμα 20 dB / decade). Από τη άλλη μεριά τα επίγεια μικροκυματικά συστήματα χαρακτηρίζονται από πολυδιαδρομική διάδοση και σκέδαση, ενώ επηρεάζονται δραματικά από τη μορφολογία του εδάφους και τις ανθρώπινες κατασκευές. Εδώ δεν υπάρχει απ’ ευθείας ισχυρή συνιστώσα και τα σήματα λήψης ακολουθούν κατανομή Rayleigh. Η εξασθένηση είναι ανάλογη της τέταρτης δύναμης της απόστασης (ισοδύναμα 40 dB / decade).

Ταυτόχρονα επειδή η πλατφόρμα βρίσκεται αρκετά κοντά στην Γη, πολύ χαμηλότερα από οποιονδήποτε δορυφόρο χαμηλής τροχιάς, οι απώλειες λόγω της διαδρομής που διανύει το σήμα είναι πολύ μικρότερες από τις αντίστοιχες απώλειες ενός δορυφορικού σήματος. Οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν με άλλους δύο τρόπους, είτε ως δορυφόροι εξαιρετικά μικρού ύψους, είτε ως επίγειοι σταθμοί πολύ μεγάλου ύψους. Μια στρατοσφαιρική πλατφόρμα συνδυάζει τα κύρια πλεονεκτήματα των δορυφορικών και των επίγειων σταθμών, ενώ οι τηλεπικοινωνιακές επιδόσεις του συστήματος είναι σχεδόν ισάξιες με εκείνες των επίγειων συστημάτων, αφού μπορούν, όπως θα δούμε στην συνέχεια, να παρέχουν υπηρεσίες ευρείας εκπομπής, οι οποίες απαιτούν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης.

Η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για τηλεπικοινωνιακή ασύρματη κάλυψη δημιουργεί προβλήματα στα επίγεια ασύρματα συστήματα, που έχουν να κάνουν με την τοποθέτηση όλο και περισσότερων κεραιών και αναμεταδοτών. Μάλιστα, καθώς η συχνότητα λειτουργίας αυτών των συστημάτων αυξάνει συνεχώς, τόσο πιο μεγάλη γίνεται η ανάγκη τοποθέτησης νέων αναμεταδοτών σε πιο πυκνή διάταξη μεταξύ τους. Το κόστος, επιπλέον, της εγκατάστασης και τοποθέτησης ενός καινούριου σταθμού ή ενός καινούργιο μαστού είναι αρκετά υψηλό, ενώ η τοποθέτηση του απαιτεί προσεκτική μελέτη, μιας και όταν εγκατασταθεί είναι πολύ δύσκολο να μετακινηθεί. Αυτά τα προβλήματα μπορούν να παρακαμφτούν με την χρήση

στρατοσφαιρικών πλατφορμών, αφού η εναέρια κάλυψη που θα παρέχει η πλατφόρμα θα παρακάμπτει τις αντιξοότητες των επίγειων καλύψεων. Η παροχή υπηρεσιών είναι δυνατή από ένα και μόνο HAP, που εν συνεχεία μπορεί να επεκταθεί σε δίκτυο πολλών εναέριων σταθμών. Τα στρατοσφαιρικά συστήματα μπορούν να τεθούν γρήγορα και άμεσα σε λειτουργία.

Τα επίγεια τηλεπικοινωνιακά δίκτυα ωστόσο απαιτούν διαδικασίες σχεδιασμού και χρονοβόρων αστικών έργων για την εγκατάσταση επίγειας υποδομής και προϋποθέτουν την ύπαρξη αρκετών σταθμών βάσης προκειμένου να καταστούν λειτουργικά ακόμα και για περιορισμένους χωρικά χρήστες.

Αξίζει ακόμη να αναφερθεί ότι η ύπαρξη στρατοσφαιρικών συστημάτων εξασφαλίζει την ανυπαρξία νεκρών ζωνών. Με τα στρατοσφαιρικά συστήματα είναι εφικτή η παροχή υπηρεσιών σε περιοχές που τα επίγεια συστήματα αδυνατούν να καλύψουν. Τέτοιες είναι οι θαλάσσιες περιοχές αλλά και κάποιες ορεινές ζώνες όπου η συμβατική ραδιοκάλυψη είναι περιορισμένη.

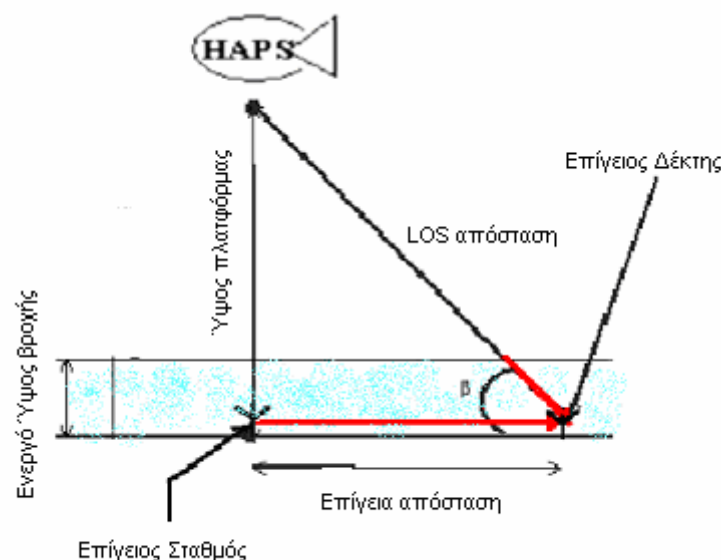
Η χρήση αναμεταδοτών δημιουργεί και αισθητικό πρόβλημα, ειδικότερα στις μεγάλες πόλεις, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγεται και η Αθήνα. Η άναρχη τοποθέτηση κεραιών και αντιαισθητικών μαστών γίνεται χωρίς να λαμβάνονται υπόψιν οι επιπτώσεις που μπορεί να έχουν στην ψυχική υγεία των ανθρώπων που ζουν κοντά στις κεραιές αυτές. Αρκετές είναι οι περιπτώσεις όπου οι μαστοί των κεραιών βρίσκονται ακόμα και δίπλα σε σχολεία και παιδικές χαρές. Στο σχήμα 1.2 φαίνεται το πώς θα είναι οι κεραιές που θα χρησιμοποιούνται από τους επίγειους χρήστες των στρατοσφαιρικών πλατφορμών. Η αρμονική αισθητική και η προσαρμογή αυτών των κεραιών με το περιβάλλον είναι φανερές.



Σχήμα 1.2 Κεραιές επίγειων τερματικών χρηστών ενός στρατοσφαιρικού συστήματος

Η επίδραση της βροχής είναι σημαντικός παράγοντας τόσο για τα επίγεια όσο και για τα στρατοσφαιρικά συστήματα. Οι επίγειες μικροκυματικές ζεύξεις ταλαιπωρούνται και από ένα άλλο παράγοντα, που είναι η βροχή. Η εξασθένηση και η αποπώλωση που υφίσταται το σήμα μιας επίγειας ζεύξης είναι πολύ μεγαλύτερη από τις απώλειες που υφίσταται το σήμα μιας στρατοσφαιρικής ζεύξης. Το φαινόμενο της

βροχόπτωσης και γενικότερα όλων των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων, δεν μπορεί να εμφανιστεί στην στρατόσφαιρα, αλλά εμφανίζεται μόνο στην τροπόσφαιρα, δηλαδή σε ένα ύψος, κατά μέσο όρο, περίπου έως και 10 km ψηλότερα από την επιφάνεια της Γης. Η εξασθένηση του σήματος που διαδίδεται από έναν επίγειο μικροκυματικό πομπό προς τον αντίστοιχο δέκτη του θα είναι μεγαλύτερη από την εξασθένηση που υφίσταται ένα σήμα που διαδίδεται από μια στρατοσφαιρική πλατφόρμα προς τον ίδιο δέκτη. Αυτό οφείλεται στο ότι το σήμα, που προέρχεται από τον επίγειο πομπό, αν υποθεθεί ότι αυτός βρίσκεται σε απόσταση μεγαλύτερη από 10 km από τον επίγειο δέκτη, θα διανύσει μεγαλύτερη απόσταση μέσα σε περιβάλλον παρουσία βροχής, από ότι το σήμα που ταξιδεύει από την στρατοσφαιρική πλατφόρμα προς τον επίγειο δέκτη. Όσο μεγαλύτερο μήκος διανύει το σήμα παρουσία βροχής, τόσο περισσότερο εξασθενεί, σε σχέση με ένα σήμα που διανύει την ίδια απόσταση, αλλά παρουσία καθαρού ουρανού. Αυτό γίνεται πιο σαφές στο σχήμα 1.3, όπου φαίνεται καθαρά αυτή η διαφορά στην απόσταση.



Σχήμα 1.3 Διάδοση, υπό συνθήκες βροχής για επίγεια και στρατοσφαιρική ζεύξη

Η εκτεταμένη χρήση επίγειων τηλεπικοινωνιακών σταθμών, που εκπέμπουν με μεγάλη ισχύ, σε αστικές περιοχές, τα τελευταία χρόνια έχει δημιουργήσει αρκετά ερωτηματικά ως προς την επίπτωση που μπορεί να έχουν οι σταθμοί αυτοί στην υγεία των ανθρώπων. Αρκετές έρευνες γίνονται από διάφορα επιστημονικά και ιατρικά ιδρύματα ως προς την καταλληλότητα και την σύσταση κανόνων ασφαλούς λειτουργίας. Η ιδέα, επομένως, για την χρήση τηλεπικοινωνιακών πλατφορμών, που

θα βρίσκονται σε μεγάλα ύψη, φαίνεται ιδανική για να παρακάμψει όλα τα παραπάνω προβλήματα αφού μία πλατφόρμα έχει τη δυνατότητα να αντικαταστήσει πολλούς τέτοιους σταθμούς, χωρίς η ίδια να επιβαρύνει το περιβάλλον.

Στον πίνακα 1.2 παρουσιάζονται συνοπτικά τα βασικά χαρακτηριστικά των τριών συστημάτων και γίνεται η μεταξύ τους σύγκριση.

	HAPS	Δορυφορικό Σύστημα	Επίγειο Ασύρματο Σύστημα
Καυστέρηση διάδοσης	Χαμηλή	Προκαλεί σημαντική καθυστέρηση στις επικοινωνίες φωνής από γεωστατικούς δορυφόρους	Χαμηλή
Επιπτώσεις στην υγεία από τις εκπομπές	Επίπεδα ισχύος παρόμοια με επίγεια συστήματα (εκτός από μεγάλες περιοχές κάλυψης)	Υψηλής ισχύος τερματικά λόγω μεγάλων απωλειών διάδοσης	Μικρές, χαμηλής ισχύος τερματικά
Αισθητικά θέματα και ανησυχία για την υγεία από τη χρήση πύργων και κεραιών	Οι επίγειοι σταθμοί τοποθετούνται μακριά από κατοικημένες περιοχές	Οι επίγειοι σταθμοί τοποθετούνται μακριά από κατοικημένες περιοχές	Προβλήματα λόγω της ύπαρξης πολλών κεραιών
Χρόνος ανάπτυξης συστήματος	Ευέλικτος σχεδιασμός, μία μόνο πλατφόρμα και η κατάλληλη επίγεια υποστήριξη επαρκούν, το δίκτυο μπορεί σταδιακά να επεκτείνεται	Απαιτείται ο σχεδιασμός ολόκληρου του συστήματος πριν αυτό τεθεί σε λειτουργία	Σταδιακή ανάπτυξη για πλήρη κάλυψη

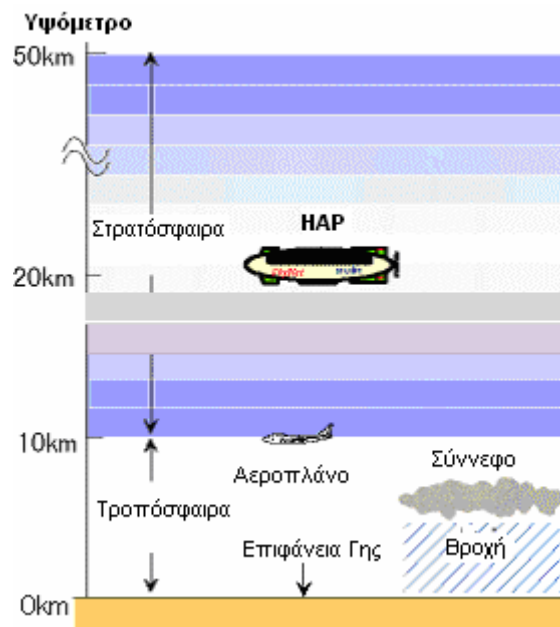
Επέκταση συστήματος	Η χωρητικότητα αυξάνεται με μεταβολή των δεσμών εκπομπής και την προσθήκη πλατφορμών, σχετικά εύκολη αναβάθμιση εξοπλισμού	Η χωρητικότητα αυξάνεται με την προσθήκη δορυφόρων, το υλικό αναβαθμίζεται μόνο με την αντικατάσταση των δορυφόρων	Αύξηση χωρητικότητας με διάσπαση κυψελών, εύκολη αναβάθμιση και επιδιόρθωση εξοπλισμού
Πολυπλοκότητα λόγω κίνησης	Αστάθεια πλατφόρμας	Κίνηση LEO-MEO, ιδιαίτερα σε ζεύξεις μεταξύ δορυφόρων	Κινητά τερματικά
Εύρος γεωγραφικής κάλυψης	έως 200 km ανά πλατφόρμα	έως και το 34% της επιφάνειας της γης από GEO, παγκόσμια κάλυψη για συστήματα LEO και MEO	λίγα χιλιόμετρα ανά σταθμό βάσης
Κάλυψη σε εσωτερικούς χώρους	Πιθανή κάλυψη	Μάλλον αδύνατη	Ικανοποιητική κάλυψη
Διάμετρος κυψέλης	1 έως 10 km	50 km για LEOs, άνω των 400 km για GEOs	0.1 – 1 km
Σκίαση από περιβάλλον διάδοσης	Πρόβλημα μόνο στις χαμηλές γωνίες ανύψωσης	Πρόβλημα μόνο στις χαμηλές γωνίες ανύψωσης	Πρόβλημα στην κάλυψη, χρήση επαναληπτών
Μέγιστος ρυθμός πομπού	25 έως 155 Mbit/s	Έως 2 Mbit/s	Έως 2 Mbit/s
Κόστος	Απροσδιόριστο, πιθανώς άνω των \$50 εκατ.	Άνω των \$200 εκατ. για GEO, δισεκατομμύρια δολάρια για LEO	Κυμαίνεται

Πίνακας 1.2 Σύγκριση μεταξύ στρατοσφαιρικών, δορυφορικών και ασύρματων επίγειων συστημάτων

1.3 Συνθήκες στη στρατόσφαιρα

Η Στρατόσφαιρα αποτελεί το δεύτερο από της επιφάνειας της Γης στρώμα της ατμόσφαιρας της Γης και βρίσκεται αμέσως μετά τη «τροπόπαυση» η οποία είναι

και το τέλος της Τροπόσφαιρας. Η στρατόσφαιρα ξεκινάει από ύψος 8 km πάνω από τους πόλους της γης, 10 km σε μέσα γεωγραφικά πλάτη της γης και 17 km πάνω από τον Ισημερινό και εκτείνεται έως και τα 50 km πάνω από την επιφάνεια της Γης, όπου και καταλήγει στη «στρατόπαιση». Η Στρατόσφαιρα έχει κάποια χαρακτηριστικά, τα οποία την καθιστούν ιδιαίτερα καλή επιλογή για χρήση από τις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες.



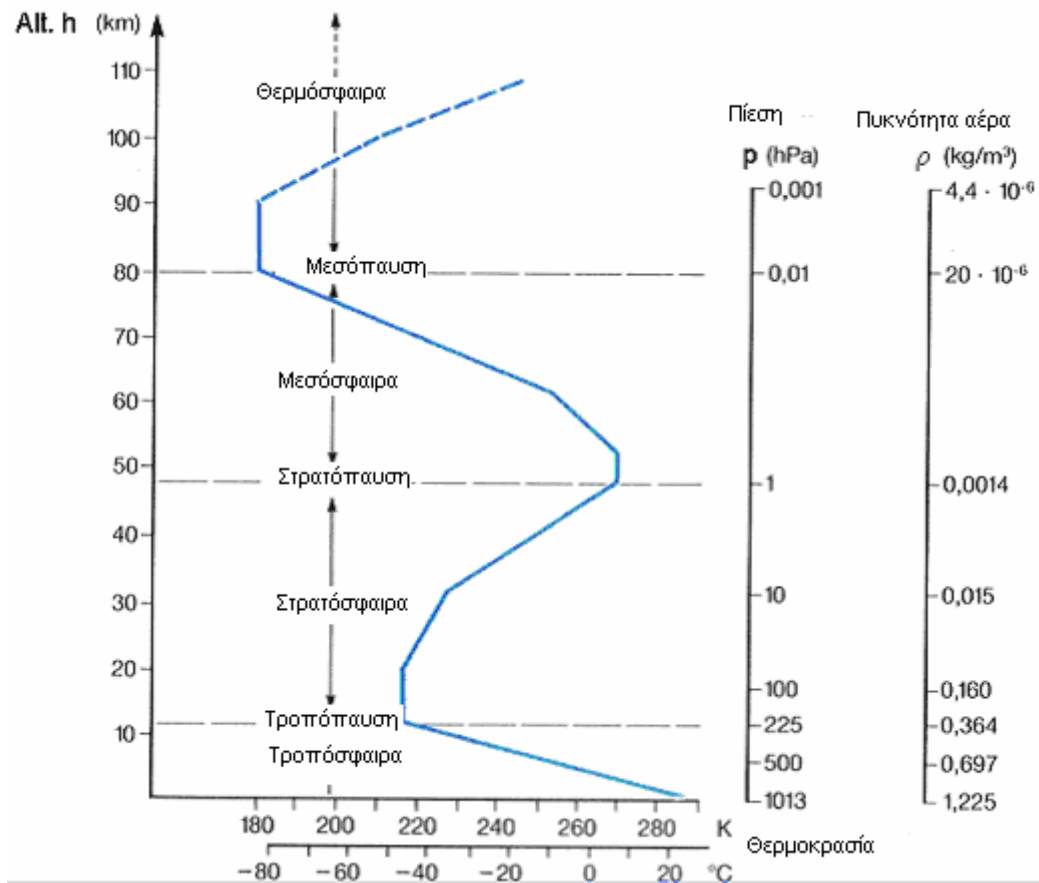
Σχήμα 1.4 Η ατμόσφαιρα

Σε αντίθεση με την τροπόσφαιρα, η στρατόσφαιρα στρωματοποιείται θερμοκρασιακά, έχοντας τα πιο ζεστά στρώματα σε υψηλότερα ύψη και πιο κρύα στρώματα στα χαμηλότερα ύψη. Η θερμοκρασία από την αρχή της στρατόσφαιρας και μέχρι τη μέση της (30-35 χιλιόμετρα) παραμένει σταθερή, στη συνέχεια όμως αυξάνει μέχρι τα 55 χιλιόμετρα. φτάνοντας ως 270°K ή -3°C , δηλαδή όσο περίπου και η θερμοκρασία του εδάφους. Η θερμοκρασία στη στρατόσφαιρα αυξάνεται καθώς απομακρυνόμαστε από την επιφάνεια της Γης εξαιτίας της απορρόφησης από το όζον της υπεριώδους ακτινοβολίας του Ηλίου. Στη στρατόσφαιρα είναι συγκεντρωμένο το μεγαλύτερο ποσοστό του όζοντος που προφυλάσσει τη Γη από τις υπεριώδεις ακτινοβολίες. Η απορρόφηση των υπεριωδών ακτινοβολιών από το στρώμα του όζοντος δικαιολογεί την αύξηση της θερμοκρασίας με το ύψος και την επακόλουθη σταθερότητα που χαρακτηρίζει τη στρατόσφαιρα.

Νέφη και άλλα μετεωρολογικά φαινόμενα όπως εκείνα που παρατηρούνται στη τροπόσφαιρα δεν παρατηρούνται σε αυτήν. Υπάρχει πολύ καλή ορατότητα, ενώ η πυκνότητα της ατμόσφαιρας είναι μικρή και οι αναταράξεις λίγες. Η στρατόσφαιρα είναι λιγότερο υγρή και περισσότερο συμπαγής. Στον πίνακα 1.3 φαίνεται η θερμοκρασία, η πίεση και η πυκνότητα ανάλογα με το ύψος από την επιφάνεια της Γης.

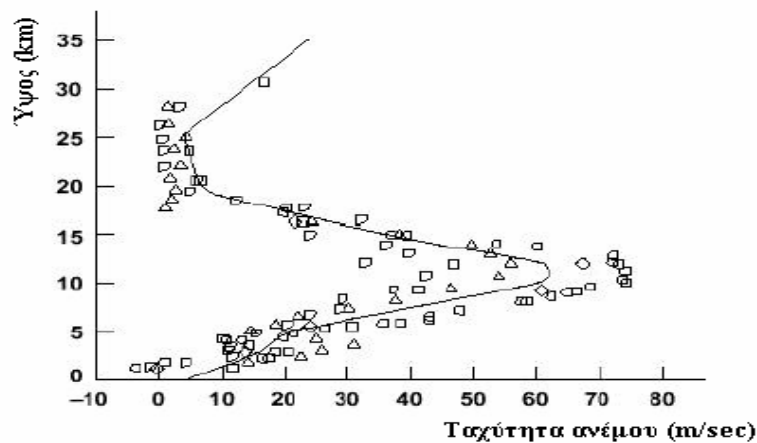
ΥΨΟΜΕΤΡΟ (ΚΜ)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°Κ)	ΠΙΕΣΗ (ΜΒΑΡ)	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ CM ⁻³
0	288	1013.3	2.55 x 10 ¹⁹
5	256	540.3	1.53 x 10 ¹⁹
10	223	265	8.61 x 10 ¹⁸
15	217	121.1	4.04 x 10 ¹⁸
20	217	55.3	1.85 x 10 ¹⁸
25	222	25.5	8.33 x 10 ¹⁷
30	227	12	3.83 x 10 ¹⁷
35	237	5.7	1.74 x 10 ¹⁷
40	250	2.3	6.67 x 10 ¹⁶
45	264	1.5	4.12 x 10 ¹⁶
50	271	0.8	2.14 x 10 ¹⁶
55	261	0.43	1.19 x 10 ¹⁶
60	247	0.22	6.45 x 10 ¹⁵
65	233	0.11	3.42 x 10 ¹⁵
70	220	0.052	1.71 x 10 ¹⁵
75	208	0.024	8.36 x 10 ¹⁴
80	198	0.011	4.03 x 10 ¹⁴
86	189	0.0045	1.72 x 10 ¹⁴
90	187	0.0018	6.98 x 10 ¹³
95	188	0.00076	2.93 x 10 ¹³
100	195	0.00032	1.19 x 10 ¹³

Πίνακας 1.3 Θερμοκρασία, κατακόρυφη κατανομή πίεσης και ατμοσφαιρική πυκνότητα



Διάγραμμα 1.1 Συνθήκες στην ατμόσφαιρα

Η επιλογή του στρατοσφαιρικού στρώματος για τη λειτουργία του νέου στρώματος και το αυξημένο ενδιαφέρον της πλειοψηφίας των νέων ερευνητών στα ύψη από τα 15 έως τα 30 km για τη λειτουργία των HAPS έγινε με γνώμονα την ελαχιστοποίηση της μέσης ταχύτητας των ανέμων και των αναταράξεων που ενδέχεται να προκαλέσουν προβλήματα σταθερότητας στην πλατφόρμα αφού οι άνεμοι που πνέουν στο συγκεκριμένο ύψος είναι ηπιότεροι σε σχέση με αυτούς που επικρατούν σε άλλα ύψη και ότι όσο πιο ψηλά σε σχέση με την επιφάνεια της γης βρίσκεται ένας σταθμός, τόσο πιο καλές συνθήκες οπτικής επαφής επιτυγχάνονται μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Οι άνεμοι που επικρατούν στη στρατόσφαιρα είναι μεταβαλλόμενοι, εξαρτώνται από το γεωγραφικό πλάτος και αλλάζουν κατεύθυνση δύο φορές το χρόνο. Ενδεικτικά, η ταχύτητα των στρατοσφαιρικών ανέμων πάνω από τον Ισημερινό είναι της τάξης των 18 km/h ενώ στους πόλους η αντίστοιχη ταχύτητα είναι 200 km/h. Το διάγραμμα 1.2 που ακολουθεί απεικονίζει την ταχύτητα των ανέμων συναρτήσει του ύψους από την επιφάνεια της Γης.



Διάγραμμα 1.2 Μέση ταχύτητα ανέμου σε διάφορα ύψη

Πράγματι, παρατηρούμε πως η ταχύτητα των ανέμων σε ύψη κάτω από 22 km είναι σημαντικά μικρότερη σε σχέση με άλλα ύψη. Το γεγονός αυτό συμβάλλει στην επίλυση ενός προβλήματος που έχουν να αντιμετωπίσουν οι εταιρίες κατασκευής πλατφορμών, αυτό της σταθεροποίησης των πλατφορμών πάνω από ένα σταθερό σημείο στη Γη. Η έλλειψη ισχυρών ανέμων σε ύψη 17-25 km καθιστά τις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες περισσότερο ευσταθείς και ικανές να παραμένουν σε μεγάλα ύψη για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα.

Ένας από τους παράγοντες που αποτρέπει τους ερευνητές στη χρησιμοποίηση των υψομέτρων μεταξύ 30 και 50 km είναι η πυκνότητα του αέρα. Επειδή η πυκνότητα της ατμόσφαιρας μειώνεται σημαντικά με το ύψος, η πλατφόρμα που θα σχεδιασθεί για μεγάλα ύψη, θα πρέπει να έχει μεγαλύτερη ποσότητα αερίου. Η ατμοσφαιρική πυκνότητα στα 50km είναι 90 φορές μικρότερη από ότι στα 20km, επομένως μια πλατφόρμα τύπου αερόστατου στα 50km θα χρειάζεται 90 φορές περισσότερο αέριο για να διατηρηθεί σε αυτό το ύψος από ότι θα χρειαζόταν αν βρισκόταν στα 20 km. Αυτός είναι ένας από τους λόγους που οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες σχεδιάζονται για να λειτουργούν στα 21-25 km.

Τέλος, η επιλογή αυτού του ύψους και όχι χαμηλότερου έγινε για να εξασφαλιστεί η ασφάλεια των πτήσεων και να αποφευχθούν προβλήματα εναέριας κυκλοφορίας αφού οι πτήσεις των πολιτικών και των περισσότερων στρατιωτικών αεροσκαφών διεξάγονται σε υψόμετρα χαμηλότερα των 55.000 ft.

1.4 Ανάθεση συχνοτήτων για HAPS

1.4.1 Ρόλος της ITU στην εκχώρηση φάσματος

Ο βασικός ρόλος της ITU είναι να αναθέτει διάφορες ζώνες συχνοτήτων σε διάφορες υπηρεσίες, πάντα με σεβασμό στις διεθνείς ανάγκες και στόχους της κάθε

χώρας. Από την άλλη πλευρά σε κάθε χώρα λειτουργεί συγκεκριμένη υπηρεσία που εκχωρεί συχνότητες για εθνική χρήση, μεριμνώντας ώστε οι ραδιοεκπομπές να μην παρενοχλούν άλλες υπάρχουσες εθνικές ή διεθνείς ραδιοεπικοινωνίες. Οι εκχωρήσεις συχνοτήτων λοιπόν εξαρτώνται από την εκάστοτε περιοχή. Ανάλογα, επομένως, με την περιοχή, οι ανατιθέμενες ζώνες συχνοτήτων μπορεί να εκχωρούνται αποκλειστικά σε μια υπηρεσία ή μπορεί να εκχωρούνται, σε κοινή βάση, σε περισσότερες από μια υπηρεσίες.

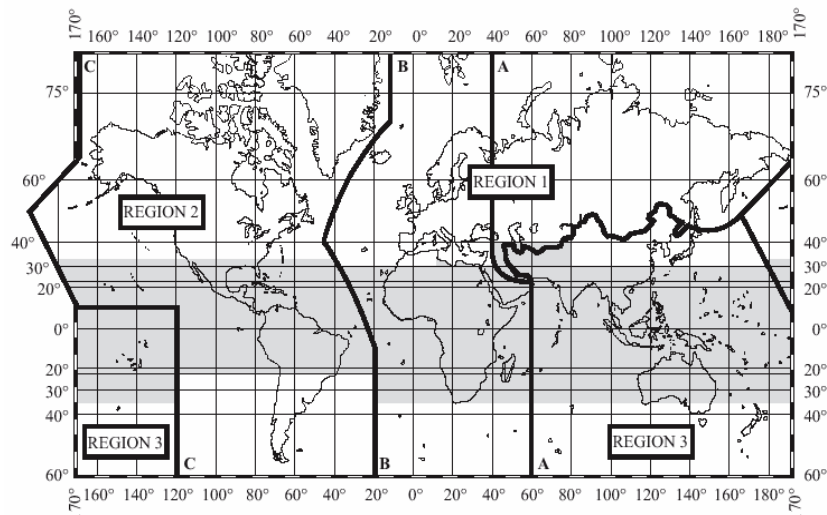
Οι εκχωρήσεις συχνοτήτων σε μια υπηρεσία τηλεπικοινωνιών γίνονται με βάση την ανάλυση των συνθηκών για την διάθεση της ζώνης συχνοτήτων στην υπηρεσία αυτήν. Για αυτόν τον λόγο η ITU έχει χωρίσει την Γη σε τρεις μεγάλες περιοχές,

- Περιοχή 1 (Region 1), που περιλαμβάνει την Ευρώπη, την Αφρική, την Μέση Ανατολή και τις χώρες της πρώην Σοβιετικής Ένωσης.
- Περιοχή 2 (Region 2), που περιλαμβάνει την Νότια και την Βόρεια Αμερική.
- Περιοχή 3 (Region 3), που περιλαμβάνει την Ωκεανία και την Ασία, εκτός τις χώρες της πρώην Σοβιετικής Ένωσης και της Μέσης Ανατολής.

Για την εκχώρηση των συχνοτήτων η ITU καθορίζει ανάλογα πάντα με την χώρα, δύο είδη υπηρεσιών, τις υπηρεσίες πρωτεύουσας σημασίας και τις υπηρεσίες δευτερεύουσας σημασίας. Οι υπηρεσίες πρωτεύουσας σημασίας είναι εκείνες που έχουν άμεση προτεραιότητα λειτουργίας. Αντιθέτως, οι υπηρεσίες δευτερεύουσας σημασίας μπορούν να λειτουργούν με την προϋπόθεση ότι δεν ενοχλούν με οποιοδήποτε τρόπο τις υπηρεσίες πρωτεύουσας σημασίας. Στην περίπτωση που δύο διαφορετικά συστήματα παρέχουν υπηρεσίες ίδιας σημασίας, είτε και τα δύο πρωτεύουσας είτε και τα δύο δευτερεύουσας σημασίας, τότε οφείλουν οι διαχειριστές των συστημάτων αυτών να λάβουν τα κατάλληλα μέτρα, με βάση κάποιους κανόνες, έτσι ώστε να μην δημιουργούνται προβλήματα σε ένα από τα δύο συστήματα κατά την κοινή τους λειτουργία.

Στην πράξη παρατηρείται κάποιες φορές (π.χ. σε επείγουσες καταστάσεις) το φαινόμενο της μη τήρησης της εκχώρησης συχνότητας που έχει ορίσει η ITU-R, όπου κατά παρέκκλιση και μετά από αίτηση της συγκεκριμένης χώρας είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί κάποιο άλλο εύρος συχνοτήτων για μία δεδομένη υπηρεσία. Η υπηρεσία αυτή υποχρεούται να μην προκαλεί παρεμβολές αλλά και να μην διεκδικεί προστασία από παρεμβολές που προέρχονται από σταθμούς που λειτουργούν σύμφωνα με τους κανονισμούς και τις συστάσεις της ένωσης.

Στο σχήμα 1.5 φαίνεται ο χάρτης της Γης και τα όρια της κάθε περιοχής, στις οποίες είναι χωρισμένος ο παγκόσμιος τηλεπικοινωνιακός χάρτης, σύμφωνα με την ITU.



Σχήμα 1.5 Ο τηλεπικοινωνιακός χάρτης της ITU

Για να δημιουργηθούν επιτυχημένα συστήματα HAPS τα οποία θα παίξουν καθοριστικό ρόλο στη βιομηχανία των ασύρματων επικοινωνιών απαιτείται η διάθεση των απαραίτητων ζωνών συχνοτήτων. Παρ' όλα αυτά, οι ζώνες συχνοτήτων που είναι κατάλληλες για ένα ασύρματο σύστημα επικοινωνιών που βασίζεται σε στρατοσφαιρικές πλατφόρμες έχουν ήδη διατεθεί σε ένα αριθμό υπηρεσιών και δεν απομένει ελεύθερος χώρος. Έτσι, για να δημιουργηθεί ένα τέτοιο σύστημα πρέπει να οριστούν οι απαιτήσεις για το διαμοιρασμό των συχνοτήτων με τις ήδη υπάρχουσες υπηρεσίες και να αναπτυχθούν τεχνικές ικανές να ελαχιστοποιήσουν τις παρεμβολές μεταξύ τους. Για να ενισχύσει τη πιθανή ανάπτυξη των συστημάτων που χρησιμοποιούν HAPS, η ITU έχει αναθέσει μια σειρά από ζώνες συχνοτήτων για την χρησιμοποίησή τους από στρατοσφαιρικές πλατφόρμες HAPS. Οι υπηρεσίες που θα καλύπτουν οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες ορίζονται ανάλογα με την ζώνη συχνοτήτων στην οποία θα λειτουργήσουν. Όλες όμως αυτές οι αναθέσεις έχουν γίνει θεωρώντας τις υπηρεσίες που θα παρέχουν οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες ως μη πρωταρχικές.

Για να αποφευχθούν οι παρεμβολές με αυτές τις υπηρεσίες στις οποίες έχουν παραχωρηθεί παραπλήσιες συχνότητες, απαιτείται ένα πολύπλοκο σύστημα κεραιών και καλή γνώση των ραδιοδιαύλων.

Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών και οι ανά τον κόσμο εθνικές τηλεπικοινωνιακές αρχές μετά από την εξέταση της τεχνολογίας των συστημάτων με χρήση στρατοσφαιρικών πλατφορμών, την κατέταξαν στις υψηλής πυκνότητας σταθερές υπηρεσίες (high density fixed service) και με το πέρας του Παγκόσμιου Συνεδρίου Τηλεπικοινωνιών το 2003 (WRC-2003), οι συχνότητες που οριστικοποιήθηκαν για τα συστήματα HAPS είναι στις ζώνες συχνοτήτων των 2.1 GHz, των 31/28 GHz και των 48/47 GHz.

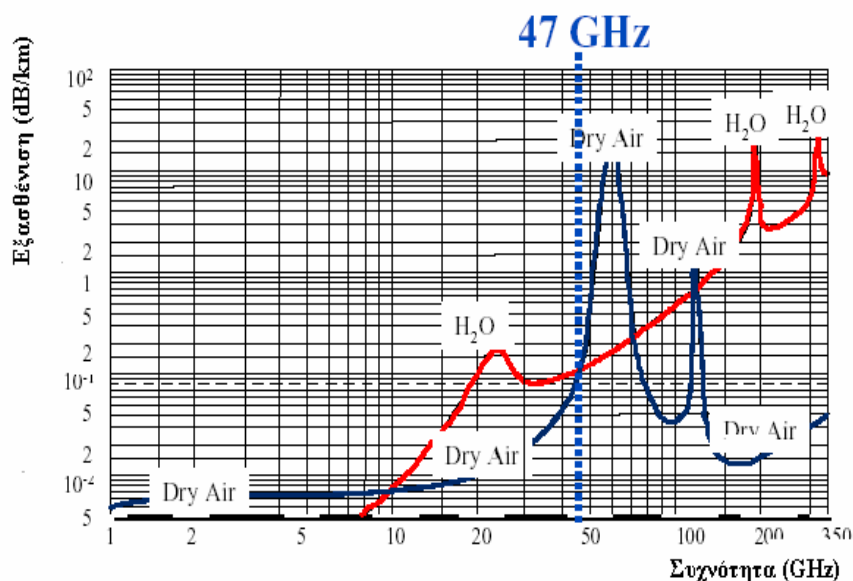
1.4.2 Ανάθεση στις Συχνότητες στα 48 GHz

Το παγκόσμιο συνέδριο για τις ασύρματες τηλεπικοινωνίες WRC-97

(World Radio Conference) υπέδειξε στην απόφαση 122 (Resolution 122) ένα ζεύγος φασματικών ζωνών γύρω από τη συχνότητα των 47 GHz για τις σταθερές υπηρεσίες των στρατοσφαιρικών πλατφορμών. Στη V-ζώνη συχνοτήτων έχει ανατεθεί φάσμα 300 MHz σε κάθε κατεύθυνση, ανάθεση η οποία είναι βασισμένη σε αρχές μη επιβλαβούς παρεμβολής για σταθερές ευρυζωνικές υπηρεσίες (δεδομένα/ φωνή/ video) καθώς και για υπηρεσίες τηλεμετρίας και ελέγχου της πλατφόρμας.

Συγκεκριμένα για τις περιοχές 1 και 3 και την προς τα κάτω ζεύξη εκχωρήθηκε το εύρος συχνοτήτων: 47,2 – 47,5 GHz, ενώ για την προς τα άνω ζεύξη εκχωρήθηκε το εύρος: 47,9 – 48,2 GHz. Ήδη οι ζώνες από 47.2 έως και 50.2 GHz χρησιμοποιούνται από τηλεπικοινωνιακά συστήματα σταθερών, κινητών και για την άνω ζεύξη δορυφορικών σταθερών υπηρεσιών, οπότε πρέπει να γίνεται προσπάθεια έτσι ώστε να αποφεύγονται οι παρεμβολές. Επιπλέον οι ζώνες αυτές γειτονεύουν με τη ζώνη συχνοτήτων που έχει ανατεθεί σε υπηρεσίες ραδιοαστρονομίας, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει παρεμβολές.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η επιλογή των συχνοτήτων κοντά στα 48 GHz έγινε γιατί σε εκείνη την περιοχή συχνοτήτων η εξασθένιση που υφίσταται το σήμα λόγω των ατμοσφαιρικών αερίων είναι πολύ μικρή, σε σχέση με την εξασθένιση που υφίστανται τα σήματα σε διπλανές, από τα 48 GHz, συχνότητες. Αυτό φαίνεται και από το διάγραμμα 1.2.



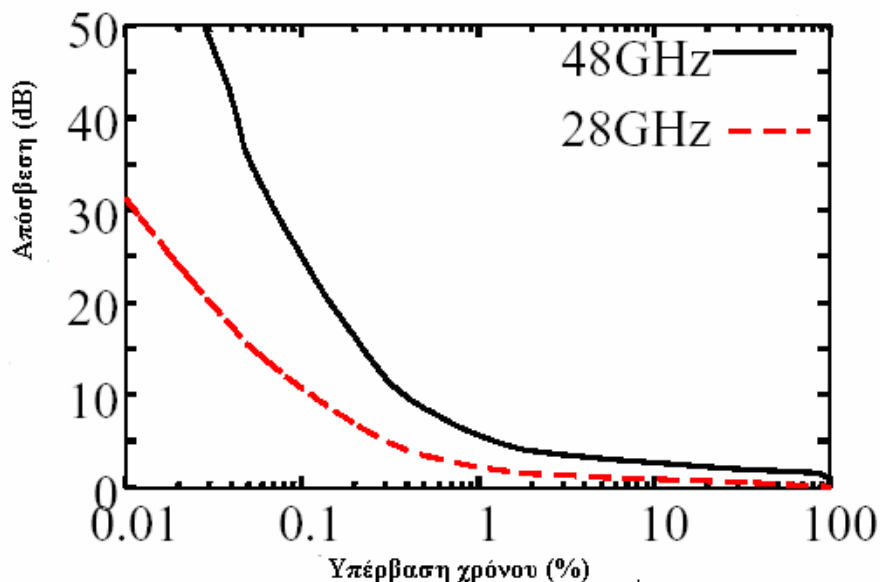
Διάγραμμα 1.3 Εξασθένιση σήματος, λόγω απορρόφησης από τα αέρια της ατμόσφαιρας, για διάφορες συχνότητες

1.4.3 Ανάθεση στις Συχνότητες στα 28 και 31 GHz

Το φαινόμενο της εξασθένισης λόγω βροχής είναι ιδιαίτερα έντονο στην Ασία και σε τροπικές περιοχές. Γι' αυτό το λόγο, η ITU-R εξέτασε τη δυνατότητα και τελικά στο παγκόσμιο συνέδριο WRC-2000 αποφάσισε την εκχώρηση φάσματος στις

συχνότητες 28/31 GHz σε 40 χώρες παγκοσμίως, αφού σε χαμηλότερες συχνότητες η εξασθένιση λόγω βροχής είναι ασθενέστερη. Πρόκειται για 20 ασιατικές χώρες, την Ρωσία, αφρικανικές χώρες και χώρες της περιοχής 2. Η ανάθεση αυτή περιλαμβάνει το εύρος των 27.5-28.35 GHz για την κάτω ζεύξη και 31.0-31.3 GHz για τη λειτουργία της άνω ζεύξης. Προς το παρόν η χρήση των συχνοτήτων 27.5-28.35 GHz για τη λειτουργία της κάτω ζεύξης, έχει περιορισμό του εύρους ζώνης λειτουργίας των 300 MHz.

Πάντως, ήδη γίνεται προσπάθεια να διατεθούν οι ζώνες συχνοτήτων 28/31 GHz και στις Ευρωπαϊκές χώρες έτσι ώστε να βελτιωθούν οι επιδόσεις των ζεύξεων. Οι ζώνες συχνοτήτων 28/31 GHz χρησιμοποιούνται από τηλεπικοινωνιακά συστήματα σταθερών και κινητών υπηρεσιών. Επιπλέον, οι συχνότητες 31.0–31.3 GHz χρησιμοποιούνται για υπηρεσίες ραδιοαστρονομίας, για την εξερεύνηση της Γης από το διάστημα καθώς και την εξερεύνηση του διαστήματος. Κρίνεται απαραίτητο να περιορίζονται οι παρεμβολές προς άλλα συστήματα σταθερών υπηρεσιών, ενώ δεν προβλέπεται αντίστοιχη προστασία για τα HAPs.



Διάγραμμα 1.4 Απόσβεση του σήματος, λόγω βροχής, στις συχνότητες των 28 και των 48 GHz για διάφορες τιμές υπέρβασης του χρόνου λειτουργίας

1.4.4 IMT-2000

Τα συστήματα με τις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες, μπορούν να παρέχουν εκτός από τις υπηρεσίες σε σταθερούς χρήστες, και κινητές υπηρεσίες. Στη ζώνη συχνοτήτων γύρω από τα 2.1 GHz έχει ανατεθεί συνολικό εύρος 50/60 MHz σαν εναλλακτική λύση των σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας. Η ανάθεση αυτή είναι παγκόσμια με μικρές διαφορές στις συχνότητες λειτουργίας ανά περιοχή.

Η προαναφερθείσα ζώνη συχνοτήτων αφορά την IMT-2000 (International Mobile Telecommunications 2000) της οποίας στόχος είναι η ενοποίηση όλων των

συστημάτων κινητών υπηρεσιών, παγκοσμίως, κάτω από διεθνείς κανόνες και πρότυπα λειτουργίας. Η ανάθεση είναι παγκόσμια με μικρές διαφορές στις συχνότητες λειτουργίας ανά περιοχή. Οι συχνότητες είναι στα 1885 – 1980 MHz, 2010 – 2025 MHz και 2110 – 2170 MHz στις περιοχές 1 και 3 και στα 1885 – 1980 MHz και 2110 – 2160 MHz στην περιοχή 2. Η ανάθεση δεν είναι αποκλειστική ούτε έχει προτεραιότητα έναντι άλλων υπηρεσιών που χρησιμοποιούν τις ίδιες συχνότητες.

Ζώνη Συχνοτήτων	Περιοχές	Κατεύθυνση Ζεύξης	Υπηρεσίες	Υπηρεσίες που μοιράζεται το φάσμα
47.9-48.2 GHz 47.2-47.5 GHz	Παγκόσμια	Άνω και κάτω ζεύξεις	Σταθερές	Σταθερές, κινητές Σταθερές δορυφορικές
31.0-31.3 GHz	40 χώρες παγκοσμίως (Ασία, Αφρική, Περιοχή 2)	Άνω ζεύξη	Σταθερές	Σταθερές, κινητές διαστήματος
27.5-28.35 GHz	40 χώρες παγκοσμίως (Ασία, Αφρική, Περιοχή 2)	Κάτω ζεύξη	Σταθερές	Σταθερές, κινητές, σταθερές δορυφορικές
1885-1980 MHz 2010-2025 MHz 2110-2160 MHz	Περιοχή 1 & 3	Άνω και κάτω ζεύξεις	IMT-2000	Σταθερές, κινητές, IMT-2000, PCS
1885-1980 MHz 2110-2160 MHz	Περιοχή 2	Άνω και κάτω ζεύξεις	IMT-2000	Σταθερές, κινητές, IMT-2000, PCS

Πίνακας 1.4 Ζώνες συχνοτήτων για επικοινωνία με HAPs

1.5 Πλατφόρμες

Στο σημείο αυτό θα ήταν χρήσιμο να γίνει μια συνοπτική περιγραφή για το τι είναι οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες. Η ονομασία HAPS προέρχεται από τα αρχικά High Altitude Platforms, Παρά το γεγονός ότι ο όρος HAP δεν είναι αυστηρά ορισμένος, θεωρούμε ότι αναφέρεται στα ηλιακής ενέργειας μη επανδρωμένα αεροπλάνα ή αερόπλοια που μπορούν να παραμείνουν σταθερά σε συγκεκριμένη θέση στον ορίζοντα για διάρκεια κάποιων μηνών. Αρκετά συχνά συναντώνται και οι όροι HAAP (High Altitude Aeronautical Platforms), SPR (Stratospheric Platform Radio), HALO (High Altitude Long Operation) καθώς και ο όρος HALE (High Altitude Long Endurance Platforms) που υπονοεί σκάφη ικανά για παραμονή έως και λίγων ετών σε δεδομένο σημείο της στρατόσφαιρας. Συγκεκριμένα είναι πλατφόρμες, οι οποίες μπορούν να στηθούν και να λειτουργήσουν σε αρκετά μεγάλα ύψη, μέσα στην στρατόσφαιρα, για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Η μεθοδολογία σχεδιασμού των πλατφορμών βασίζεται στην επίτευξη ολικής μακροχρόνιας ενεργειακής ισορροπίας μεταξύ της διαθέσιμης και της απαιτούμενης ηλιακής ενέργειας ενώ η μμείγιστη επιτεύξιμη διάρκεια της αποστολής της αναμένεται να καθοριστεί από παράγοντες όπως η λειτουργία, η απόδοση και η διάρκεια ζωής των κυψελών συσσώρευσης ενέργειας. Εντούτοις, το πιθανό πρόβλημα των κυψελών θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί και να μετριαστεί καθώς είναι αρκετά εύκολο σε αντίθεση με τα δορυφορικά συστήματα να γειωθούν οι πλατφόρμες και να επισκευαστούν ή ακόμη και να αντικατασταθούν οι κυψέλες και άλλα τμήματα που ενδεχομένως να απαιτούν επισκευή ή αναβάθμιση.

Οι πλατφόρμες ενδέχεται να είναι αεροπλάνα, αερόπλοια ή αερόστατα, επανδρωμένα ή μη, με αυτόνομη λειτουργική ικανότητα αλλά και δυνατότητα τηλεχειρισμού από το έδαφος. Σε κάθε περίπτωση οι πτήσεις των πλατφορμών είναι πλήρως συμβιβασμένες με τους κανονισμούς του διεθνούς οργανισμού πολιτικής αεροπορίας ICAO (International Civil Aviation Organization) και έχουν την εξουσιοδότηση των τοπικών αεροπορικών διοικήσεων.

1.5.1 Zeppelin

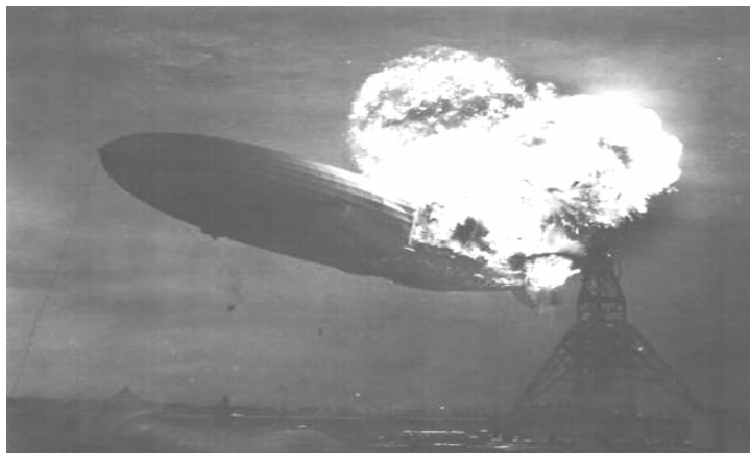
Η πρώτη μορφή εναέριων πλατφορμών ήταν τα αερόστατα (μπαλόνια) τύπου Zeppelin. Ειδικά τα αερόστατα τύπου Zeppelin προσφέρουν πολλές δυνατότητες, όπως ευρυχωρία και δυνατότητα τοποθέτησης και μεταφοράς μεγάλου ωφέλιμου φορτίου.



Σχήμα 1.6 Zeppelin του 19^{ου} αιώνα

Το Zeppelin πρωτοεμφανίστηκε στις αρχές του 19^{ου} αιώνα. Ήταν ένα υβριδικό μοντέλο μεταξύ αεροπλάνου και αερόστατου. Συνδυάζει την τεχνολογία των αερόστατων, αφού χρησιμοποιούσε το – εξαιρετικά εύφλεκτο και επικίνδυνο όπως αποδείχτηκε εκ των υστέρων – υδρογόνο σαν αέριο για να παραμένει στον αέρα και την τεχνολογία των αεροπλάνων για να κινείται. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε για να την μεταφορά επιβατών, για ψυχαγωγικούς, μετεωρολογικούς ή στρατιωτικούς σκοπούς.

Το υδρογόνο που χρησιμοποιούσε το Zeppelin όμως, ήταν αιτία πολλών ατυχημάτων. Η χρησιμοποίηση των Zeppelin για επιβατικούς σκοπούς σταμάτησε οριστικά το 1938, όταν ένα τρομακτικό ατύχημα στο Εδιμβούργο προκάλεσε τον φρικτό θάνατο πολλών ανθρώπων. Αξίζει να σημειωθεί ότι το Zeppelin αναπτύχθηκε και χρησιμοποιήθηκε ευρέως στην Γερμανία και ήταν άκρως συνυφασμένο με τους Γερμανούς Ναζί. Η απόσυρσή του Zeppelin ήταν ένα μεγάλο πλήγμα για την αλαζονεία τους.



Σχήμα 1.7 Το δυστύχημα στο Εδιμβούργο

Τα τελευταία χρόνια ωστόσο παρατηρείται μια αναζωπύρωση του ενδιαφέροντος γύρω από το Zeppelin και τα αερόστατα γενικότερα, καθώς η τεχνολογία παρέχει νέα υλικά για το εξωτερικό περίβλημα σφαίρας των μπαλονιών. Τα υλικά αυτά είναι ανθεκτικά στη UV ακτινοβολία και προστατεύουν από ενδεχόμενες διαρροές του ηλίου (He), στοιχείο που έχει αντικαταστήσει πλέον το υδρογόνο. Η χρήση του είναι κυρίως για τουριστικούς σκοπούς και για την μεταφορά φορτίων. Τα περισσότερα σύγχρονα Zeppelin χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια για την παροχή της απαραίτητης ισχύος, διαθέτουν καινούργιες, πιο δυνατές, μηχανές προώθησης, είναι πολύ ανθεκτικά, χρησιμοποιούν ελαφριά υλικά για την κατασκευή τους, είναι αρκετά πιο μεγάλα και έχουν μεγάλη διάρκεια πτήσης.

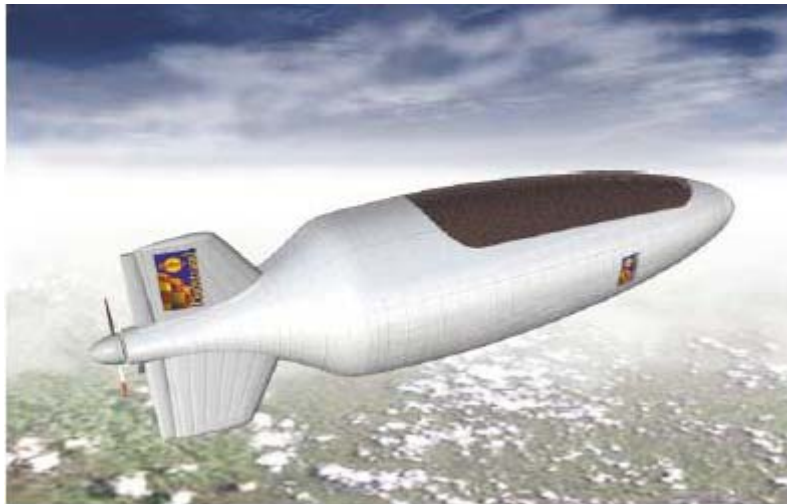


Σχήμα 1.8 Το αερόστατο Zeppelin NT

1.5.2 Αερόπλοια

Τα μη επανδρωμένα αερόπλοια αποτελούν την εξέλιξη των αερόστατων. Στην ουσία πρόκειται για τεράστια μπαλόνια ηλίου μήκους 100 με 200 m, με ήμι-άκαμπτο ή άκαμπτο περίβλημα, στο εσωτερικό των οποίων περιέχεται αέριο ήλιο. Το βάρος τους φτάνει τους 30 τόνους έχοντας τη δυνατότητα υποστήριξης ωφέλιμου φορτίου της τάξης των 1000 με 2000 kg. Εξαιτίας της μεγάλης τους επιφάνειας, τα αερόπλοια έχουν 10-20 kW διαθέσιμη ισχύ. Είναι κατασκευασμένα από πλαστικά υλικά τα οποία είναι ανθεκτικά στην υπεριώδη ακτινοβολία. Για τη διατήρηση της θέσης των οχημάτων αυτών χρησιμοποιούνται ηλεκτρικοί κινητήρες και έλικες ώστε το αερόπλοιο να πετάει αντίθετα ως προς τους ανέμους που πνέουν στην περιοχή. Η απαραίτητη κινητήρια δύναμη για την προώθησή τους και την επίτευξη σταθερής θέσης προέρχεται από ελαφριές ηλιακές κυψέλες, με τυπικό βάρος λιγότερο από 400 g/m², που καλύπτουν το επάνω μέρος της επιφάνειας του αερόπλοιοι. Οι κυψέλες

αυτές εξυπηρετούν και οικολογικούς σκοπούς αναπαράγοντας καύσιμη ύλη με υδρογόνο και οξυγόνο. Κατά τη διάρκεια της ημέρας μετατρέπουν το νερό σε καύσιμα και αποθηκεύουν την ενέργεια σε επαναφορτιζόμενα ηλεκτρικά στοιχεία καύσιμης ύλης (fuel cells) τα οποία τίθενται σε λειτουργία κατά τη διάρκεια της νύχτας. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια για την εξυπηρέτηση των νυχτερινών αναγκών. Στόχος είναι αυτός ο τύπος οχήματος να έχει τη δυνατότητα να παραμένει στη θέση του για 5 χρόνια ή και περισσότερο.



Σχήμα 1.9 Ένα αερόπλοιο της εταιρείας Lindstrand

Παραδείγματα τέτοιων αερόπλοιων είναι το SkyNet, το οποίο στοχεύει στο να αναπτύξει ένα δίκτυο επικοινωνιών πάνω από την Ιαπωνία, το SkyStation το οποίο έχει και αυτό επικοινωνιακές εφαρμογές και τα οποία περιγράφονται στη συνέχεια.

1.5.2.1 Sky Station

Sky Station είναι το όνομα ενός στρατοσφαιρικού συστήματος που σχεδιάστηκε από την αμερικάνικη εταιρεία Sky Station International. Ο αριθμός των πλατφορμών που θα κατασκευαστούν θα εξαρτηθεί από την ζήτηση, παρ' όλα αυτά έχει ανακοινωθεί ότι θα κατασκευαστούν αρχικά 250 πλατφόρμες. Η πλατφόρμα θα είναι καλυμμένη με ηλιακές κυψέλες, που θα παρέχουν την απαραίτητη ενέργεια στους ηλεκτρικούς κινητήρες.



Σχήμα1.10 Sky Station

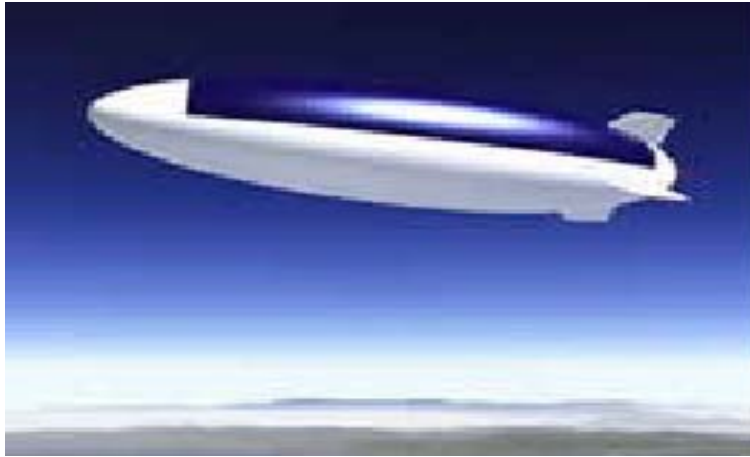
Οι ρυθμοί μετάδοσης που έχουν προβλεφθεί για τις σταθερές υπηρεσίες, θα είναι 2 Mbps για την άνω ζεύξη και 10 Mbps για την κάτω ζεύξη. Για τις κινητές υπηρεσίες οι αντίστοιχοι ρυθμοί θα κυμαίνονται από 9.6 έως 16 kbps, για φωνή και 384 kbps, για δεδομένα. Το κόστος του όλου σχεδίου έχει εκτιμηθεί στα \$2.5 δις. Η ζεύξη μεταξύ των πλατφορμών αρχικά δεν θα είναι άμεση, αλλά θα γίνεται μέσω των σταθμών-διόδων. Όμως για μετέπειτα φάση έχει σχεδιασθεί η διασύνδεση διαφορετικών πλατφορμών με ράδιο ζεύξεις.

Αρχικά, είχε ανακοινωθεί πως η πλατφόρμα αυτήν θα χρησιμοποιούσε μηχανές ιόντων για τον έλεγχο της κίνησης και του ελιγμούς. Για τις μηχανές ιόντων δεν υπάρχουν πολλές πληροφορίες, έτσι η αποδοτικότητα και η ικανότητα παροχής ενέργειας από αυτές τις μηχανές δημιούργησε πολλές συζητήσεις. Τελικά το Sky Station θα χρησιμοποιεί συμβατές ηλεκτρικές μηχανές και ελαφριές προπέλες για την κίνηση του.

1.5.2.2 StratSat

Το StratSat είναι ένα στρατοσφαιρικό σύστημα HAPS που έχει σχεδιασθεί από μια εταιρεία της Μεγάλης Βρετανίας, την Advanced Technology Group ή ATG. Το StratSat προτίθεται να προσφέρει μια σίγουρη και φθηνή λύση για γεωστατικές τηλεπικοινωνίες, πάνω από περιοχές με υψηλή συγκέντρωση χρηστών.

Με στρατιωτικές και εμπορικές υπηρεσίες, το StratSat μπορεί να διεκπεραιώσει αποστολές από ύψη πολλών χιλιάδων μέτρων και μπορεί να παραμείνει εκεί για πάνω από πέντε χρόνια, με πολύ μικρό κόστος. Η πλατφόρμα θα βρίσκεται στην στρατόσφαιρα, πολύ ψηλότερα από τις συμβατικές εναέριες πτήσεις και έτσι δεν αποτελεί κανένα πρόβλημα για αυτές.



Σχήμα1.11 StratSat

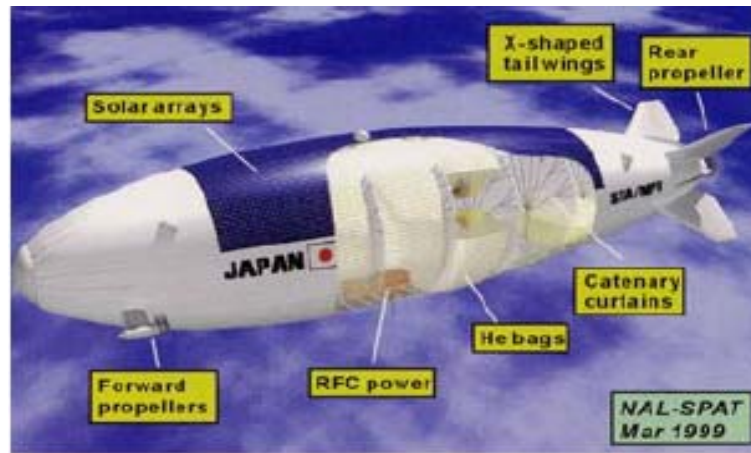
Το φθινό κόστος εκτόξευσης, σε σχέση με το κόστος εκτόξευσης των συμβατικών δορυφόρων, θα επιτρέψει στους διαχειριστές της πλατφόρμας να συζητήσουν το ενδεχόμενο μείωσης του κόστους κλήσης από η προς ένα κινητό τηλέφωνο-τερματικό, διεκδικώντας με αυτόν τον τρόπο ένα μεγάλο μερίδιο της αγοράς.

Οι ηλιακές κυψέλες παρέχουν ολόκληρη την ισχύ που χρειάζεται η πλατφόρμα. Θα τοποθετηθούν στο άνω τέταρτο της άτρακτου και θα καταλαμβάνουν, περίπου, τα $\frac{3}{4}$ του συνολικού μήκους της πλατφόρμας. Οι ηλιακοί συλλέκτες ενέργειας θα μπορούν να προσανατολίζονται με τον ήλιο, κατά την διάρκεια της ημέρας, με κατάλληλη θέση και γωνία, αφού η πλατφόρμα θα μπορεί να περιστρέφεται γύρω από τον εαυτό της.

Η πλατφόρμα θα κινείται και θα στρίβει χρησιμοποιώντας προπέλες της τεχνολογίας “Contra-Rotating Coned Rotor” που θα είναι τοποθετημένες σε ένα διαμορφωμένο χώρο στην ουρά της, σαν ένα μέρος του σύνθετου συστήματος προώθησης. Αυτό το σύστημα θα παρέχει την απαιτούμενη πρόωση για την αντιμετώπιση των δυνατών ανέμων και την ικανότητα ελιγμών, για να μπορεί η πλατφόρμα να παραμένει σταθερή μέσα σε έναν χώρο σε σχήμα κύβου με πλευρές 1 km.

1.5.2.3 Σύστημα Στρατοσφαιρικής Πλατφόρμας από την Ιαπωνία

Το αερόστατο θα έχει μια ήμι-άκαμπτη άτρακτο ελλειψοειδούς σχήματος με συνολικό μήκος πάνω από 200 μέτρα. Αποτελείται από μια άτρακτο που περιέχει πεπιεσμένο αέρα, για να βοηθά να παραμένει η πλατφόρμα σε μια σταθερή τροχιά και από εσωτερικούς σάκους που είναι γεμάτοι από αέριο ηλίου. Δύο επιπλέον μπαλόνια με αέρα έχουν τοποθετηθεί εσωτερικά στην άτρακτο για να μπορεί αυτήν να παραμένει σε ικανοποιητικά ύψη. Για να παραμένει ακίνητο το ωφέλιμο φορτίο στην δύναμη που ανυψώνει την πλατφόρμα, αλυσοειδή ελάσματα συνδέονται απευθείας σε μια χαμηλότερη άκαμπτη καρίνα.



Σχήμα1.12 Στρατοσφαιρική πλατφόρμα από την Ιαπωνία

Προπέλες προώθησης θα τοποθετηθούν τόσο στο μπροστινό μέρος της ατράκτου όσο και στο πίσω και τα φτερά της ουράς θα τοποθετηθούν στο πίσω άκρο της ατράκτου. Ένα φωτοβολταϊκό υποσύστημα ηλιακής ενέργειας, ηλιακών κυψελών και αναγεννητικών κυψελών καυσίμων, παρέχεται για την αδιάλειπτη τροφοδοσία της πλατφόρμας και του συστήματος κίνησης.

1.5.3 Μη επανδρωμένα αεροπλάνα

Παρόλο που οι εμπορικές εφαρμογές αρχίζουν τώρα να εμφανίζονται, η χρήση αεροπλάνων στην υπηρεσία των επικοινωνιών δεν είναι καινούργια. Αεροσκάφη έχουν χρησιμοποιηθεί για τηλεοπτικούς σκοπούς στον πόλεμο του Βιετνάμ από το 1966 έως το 1972. Τα μεγάλου ύψους αεροπλάνα θα λειτουργούν σε ένα ύψος από 16 έως 19 km, πολύ υψηλότερα από τις επιβατικές πτήσεις και τις πτήσεις που γίνονται για την παρατήρηση των καιρικών φαινομένων.

Τα μη επανδρωμένα αεροπλάνα έχουν άνοιγμα φτερών 35-70 m, συνολικό βάρος μέχρι και 1000 kg ενώ μπορούν να υποστηρίξουν φορτίο 50-300 kg. Η διαθέσιμη ισχύς τους είναι περίπου 3 kW. Όπως τα αερόπλοια, τα αεροπλάνα χρησιμοποιούν ηλεκτρικές μηχανές και έλικες για την προώθησή τους. Ο σχεδιασμός τους είναι φιλικός προς το περιβάλλον αφού και αυτά χρησιμοποιούν ηλιακές κυψέλες οι οποίες τοποθετούνται στα φτερά τους, για την κάλυψη των νυχτερινών λειτουργιών. Αν και η μέση διάρκεια πτήσης αυτών των οχημάτων δεν έχει ακόμα προσδιορισθεί, υπολογίζεται ότι μπορεί να είναι 6 μήνες ή ίσως και περισσότερο.



Σχήμα 1.13 Το αεροπλάνο Pathfinder Plus

1.5.3.1 SkyTower

Με την υποστήριξη της NASA, η εταιρεία AeroVironment έχει αναπτύξει ένα μη επανδρωμένο, ηλιακής ισχύος αεροπλάνο που ονομάζεται Helios, το οποίο μπορεί να διατηρηθεί σε συνεχή πτήση για πάνω από έξι μήνες και σε ύψη πάνω από 18 km στην στρατόσφαιρα, πάνω από τις εμπορικές πτήσεις και τις πτήσεις παρακολούθησης των καιρικών φαινομένων. Η AeroVironment έχει αναπτύξει και το Pathfinder Plus, που είναι ο προκάτοχος του Helios.

Η πλατφόρμα Helios θα είναι δυνατό να παρέχει τηλεπικοινωνίες από την θέση της στην στρατόσφαιρα, ενεργώντας σαν έναν ψηλό πύργο 18 km, εξού και το όνομα "SkyTower".

Το δίκτυο των στρατοσφαιρικών επικοινωνιών του SkyTower περιλαμβάνει το εναέριο τμήμα, με το οποίο επικοινωνεί με τους χρήστες και τους σταθμούς-διόδους που βρίσκονται στο έδαφος. Οι επίγειοι σταθμοί-διόδοι θα λειτουργούν σαν μια εξελιγμένη διαπροσωπεία μεταξύ του αεροσκάφους και των υπάρχοντων επικοινωνιακών συστημάτων, όπως το Internet και το PSTN. Όταν ένα σήμα περάσει από τον τερματικό χρήστη προς το αεροσκάφος και έπειτα προς την κεραία της επίγειας διόδου, ένας επίγειος μεταγωγέας θα καθορίζει το πότε τα δεδομένα θα διοχετεύονται στο Internet, σε ένα ιδιωτικό δίκτυο ή στο τηλεφωνικό δίκτυο.



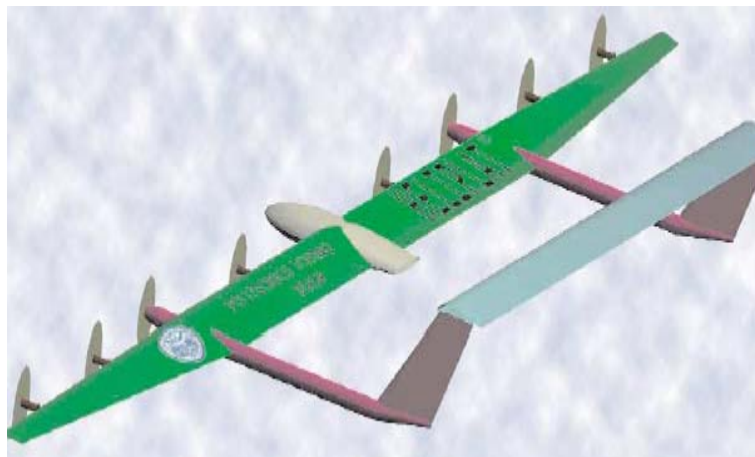
Σχήμα 1.14 SkyTower-Helios

Αυτά τα δικτυακά συστήματα σχεδιάζονται για την μεγιστοποίηση της συνολικής επίδοσης του δικτύου. Η συνολική επίδοση του συστήματος για τις εφαρμογές σταθερών υπηρεσιών υπολογίζονται να είναι περίπου 10 με 20 Mbps για κάθε πλατφόρμα, με τυπικές ταχύτητες μετάδοσης χρήστη περίπου 1.5 Mbps ή υψηλότερες (υπάρχει η δυνατότητα ταχύτητας μετάδοσης έως και 125 Mbps από έναν απλό χρήστη).

1.5.3.2 Heliplat

Το Heliplat (HELios PLATform) σχεδιάζεται στο Πολυτεχνείο του Τορίνου, κάτω από την επίβλεψη της ASI (Italian Space Agency). Το Heliplat είναι μια μη επανδρωμένη στρατοσφαιρική πλατφόρμα που χρησιμοποιεί σύστημα προώθησης με ηλιακές κυψέλες. Θα έχει ωφέλιμο φορτίο 100 κιλών και θα προσφέρει ισχύ μερικών εκατοντάδων Watts.

Η κατασκευή της πλατφόρμας Heliplat γίνεται στα πλαίσια ενός ευρωπαϊκού προγράμματος το οποίο ονομάζεται HeliNet και στο οποίο συνεργάζονται δέκα ευρωπαϊκές χώρες. Εκτός από την παροχή τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών, το πρόγραμμα περιλαμβάνει και άλλες δύο πιλοτικές εφαρμογές, την περιβαλλοντολογική παρακολούθηση και τον εντοπισμό χρηστών μέσα στην περιοχή κάλυψης της πλατφόρμας.



Σχήμα1.15 Heliplat

1.5.4 Επανδρωμένα αεροσκάφη

Μια διαφορετική μορφή εναέριων τηλεπικοινωνιακών πλατφόρμων είναι τα επανδρωμένα αεροπλάνα τα οποία έχουν μέση διάρκεια πτήσης μερικών μόνο ωρών εξαιτίας της μη επάρκειας των καυσίμων και της παρουσίας ανθρώπων σε αυτά. Τα αεροσκάφη αυτά, επιτυγχάνουν μια ψεύδο – σταθερότητα θέσης πετώντας σε κυκλική κατά προσέγγιση τροχιά διαμέτρου όχι πάνω από 13 km. Έχουν άνοιγμα

φτερών ως 80 m και δυνατότητα να μεταφέρουν κάτω από την άτρακτο 125 περίπου μικροκυματικές κεραίες, σε ύψος 16 με 19 km πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.

1.5.4.1 HALO Proteus

Η Angel Technology Corporation, που εδρεύει στις Ηνωμένες Πολιτείες, σχεδιάζει να προσφέρει ευρείας ζώνης τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες χρησιμοποιώντας επανδρωμένες πτήσεις. Ένα επανδρωμένο, μεγάλου ύψους και μεγάλης διάρκειας πτήσης, αεροπλάνο θα έχει τον ρόλο του κυρίως hub του συστήματος. Η συνεχής λειτουργία του συστήματος θα καλύπτεται από τρεις οκτάωρες βάρδιες.



Σχήμα1.16 HALO-Proteus

Οι συνδρομητές θα μπορούν επίσης να έχουν πρόσβαση σε υπηρεσίες video, δεδομένων και στο Internet, με ρυθμούς που θα ποικίλουν από 1 έως και 5 Mbps. Η τεχνολογία των επανδρωμένων αεροπλάνων μεγάλου ύψους είναι αρκετά ώριμη. Τον Αύγουστο του 1998 έγινε, με απόλυτη επιτυχία, μια επίδειξη ασύρματης ζεύξης ευρείας ζώνης, με ρυθμούς μετάδοσης που άγγιξαν τα 52 Mbps.

1.5.5 Μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα και δεμένα στο έδαφος αερόστατα

Τέλος, ως τηλεπικοινωνιακές πλατφόρμες μπορούν να λειτουργήσουν τα λεγόμενα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα UAV (Unmanned Aerial Vehicles) καθώς και τα δεμένα στο έδαφος αερόστατα (tethered aerostats). Τα UAVs είναι μικρά, χωρίς πλήρωμα αεροσκάφη, εφοδιασμένα με καύσιμα που επαρκούν για σύντομες και χαμηλού ύψους αποστολές. Χρησιμοποιούνται κυρίως για στρατιωτικές παρακολουθήσεις και ίπτανται σε χαμηλά υψόμετρα για χρονική διάρκεια το πολύ 40 ωρών.

Τα δεμένα αερόστατα είναι αερόστατα που τροφοδοτούνται από καλώδιο, γεγονός που καθιστά εξαιρετικά δύσκολη την πτήση πάνω από τα 5 με 8 km. Προφανής κίνδυνος υπάρχει στην περίπτωση αυτή για την εναέρια κυκλοφορία, αν οι πλατφόρμες δεν ίπτανται σε ζώνες που απαγορεύεται η πτήση άλλων αεροσκαφών.



Σχήμα 1.17 Το στρατιωτικό UAV Predator

1.5.5.1 ARC σύστημα

Το στρατοσφαιρικό σύστημα Airborne Relay Communications ή ARC, είναι το όνομα της πλατφόρμας που σχεδιάστηκε από την αμερικάνικη εταιρεία Platforms Wireless International. Το σύστημα ARC σχεδιάζεται για να λειτουργήσει σε χαμηλότερα ύψη, από 3 έως 10.5 km. Γνωστά και με το όνομα “Aerostats” αυτές οι πλατφόρμες έχουν σχεδιασθεί για στρατιωτικούς σκοπούς αεράμυνας, αφού έχουν χρησιμοποιηθεί σαν ραντάρ χαμηλού επιπέδου.



Σχήμα1.18 ARC σύστημα

Εμπνευσμένα από τα πηδαλιουχούμενα αερόστατα που παρακολουθούν τα σύνορα των Ηνωμένων Πολιτειών και του Μεξικού, η Platforms Wireless International αναπτύσσει ένα σύστημα που θα παρέχει σταθερές υπηρεσίες ευρείας κάλυψης, καθώς και κινητές υπηρεσίες, σε μια περιοχή με διάμετρο από 55 έως και 225 km

ανά πλατφόρμα και θα εξυπηρετεί πάνω από 1.5 εκατομμύρια συνδρομητές, ανάλογα με την ισχύ εκπομπής των κεραιών και την διαμόρφωση του συστήματος.

Ένα ARC αερόστατο έχει μήκος 46 m, χρησιμοποιεί σαν αέριο το ήλιο και μπορεί να μεταφέρει περίπου 700 κιλά ωφέλιμο φορτίο. Το όλο σύστημα θα συνδυάζεται από δύο αεροπλάνα, για την εξασφάλιση αδιάλειπτης λειτουργίας, είτε όταν οι καιρικές συνθήκες δεν θα επιτρέπουν την παρουσία του αερόστατου, π.χ. όταν οι άνεμοι που θα πνέουν στην περιοχή του αερόστατου θα έχουν μεγαλύτερη ταχύτητα από 145 km/h, είτε όταν το αερόστατο θα βρίσκεται στο έδαφος για συντήρηση.

Αντίθετα με προηγούμενες στρατοσφαιρικές πλατφόρμες που περιγράφηκαν παραπάνω, η πλατφόρμα ARC δεν χρησιμοποιεί ηλιακές κυψέλες. Η ηλεκτρική τροφοδοσία γίνεται από ένα λεπτό καλώδιο 2.5 cm. Επίσης εξετάζεται χρήση οπτικής ίνας για την διασύνδεση του συστήματος με τα υπόλοιπα δίκτυα. Τα προβλήματα στην περίπτωση αυτή είναι μεταξύ άλλων η αποδοτικότητα της εκπομπής, το μεγάλο κόστος του επίγειου εξοπλισμού και ο κίνδυνος από την υψηλής ισχύος μικροκυματική ακτινοβολία προς το περιβάλλον και τα υπόλοιπα αεροσκάφη.

Στον πίνακα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα διαφορετικά χαρακτηριστικά των στρατοσφαιρικών πλατφόρμων

	Μη επανδρωμένα αερόπλοια	Μη επανδρωμένα αεροσκάφη	Επανδρωμένα αεροσκάφη
Μέγεθος	Μήκος 150-200 m	Άνοιγμα φτερών 35-70 m	Μήκος έως 30 m
Συνολικό Βάρος	εώς 30 τόνοι	εώς 1 τόνος	εώς 2.5 τόνοι
Πηγή Ισχύος	Ηλιακές κυψέλες Κυψέλες καυσίμων	Ηλιακές κυψέλες Κυψέλες καυσίμων	Φυσικό καύσιμο
Φιλικά ως προς το περιβάλλον	ναι	ναι	όχι
Αντίδραση σε επείγουσες καταστάσεις	όχι	ναι	ναι
Διάρκεια πτήσης	εώς 5 χρόνια	Απροσδιόριστη (εώς 6 μήνες)	4-8 ώρες
Διατήρηση θέσης	Εντός κύβου ακτίνας 1 km	Σε ακτίνα 1-3 km	Σε ακτίνα 4 km
Ωφέλιμο φορτίο	1000-2000 kg	50-300 kg	Εώς 2000 kg
Ισχύς εκπομπής	εώς 10 kW	εώς 3 kW	εώς 40 kW
Παραδείγματα	Ιαπωνία, Κορέα, Κίνα, ATG, Lockheed Martin, SkyStation	Helios, Pathfinder Plus (AeroVironment), Heliplat (European project)	HALO (Angel Technologies), M-55(Geoscan Network)

Πίνακας 1.5 Σύγκριση μεταξύ μη επανδρωμένων αερόπλοιων, επανδρωμένων και μη επανδρωμένων αεροσκαφών

1.6 Τεχνικά χαρακτηριστικά του στρατοσφαιρικού συστήματος

1.6.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας

Το σύστημα θα περιλαμβάνει μια πλατφόρμα, που θα βρίσκεται σε ένα σταθερό σημείο της στρατόσφαιρας και σε ύψος από 15 έως 25 km. Η επικοινωνία γίνεται μεταξύ της πλατφόρμας και των σταθμών τερματικού χρήστη (UT - User Terminal) στο έδαφος και αντίστροφα. κυψελωτά, γεγονός που επιτρέπει επαναχρησιμοποίηση συχνότητας.

Το σύστημα θα επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων και για την λειτουργία του, η περιοχή κάλυψης θα διαχωρίζεται σε κυψέλες. Η περιοχή κάλυψης της κάθε στρατοσφαιρικής πλατφόρμας θα χωρίζεται επιπλέον σε τρεις υποπεριοχές, οι οποίες θα καθορίζονται από την γωνία με την οποία θα γίνεται η ζεύξη από την πλατφόρμα προς τα τερματικά και αντίστροφα. Τα τερματικά, επομένως, μπορούν να βρίσκονται μέσα σε τρεις ζώνες κάλυψης, την αστική (UAC - Urban Area Coverage), την προαστική (SAC - Suburban Area Coverage) και την υπαίθρια ή αγροτική ζώνη κάλυψης (RAC - Rural Area Coverage).

Επιπλέον, επικοινωνία επιτυγχάνεται, μεταξύ της πλατφόρμας και δρομολογητών δικτύου οι οποίοι μπορούν να βρίσκονται στην επιφάνεια της γης. Οι δρομολογητές θα βρίσκονται στις ζώνες UAC και SAC και συνεισφέρουν στη διασύνδεση των HAPS με το σταθερό τηλεπικοινωνιακό δίκτυο. Οι επικοινωνίες των σταθμών-διόδων και της πλατφόρμας θα γίνονται στις ίδιες ζώνες συχνοτήτων.

1.6.2 Ζώνες Καλύψης

Η συνολική περιοχή κάλυψης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας χωρίζεται σε τρεις ζώνες. Αυτές οι ζώνες είναι απαραίτητες για την εξασφάλιση σύμφωνης υπηρεσίας ευρείας ζώνης όλων των χρηστών, κατά μήκος του ίχνους της πλατφόρμας. Η περιοχή κάλυψης από την στρατοσφαιρική πλατφόρμα θα έχει μια διάμετρο έως και 1000 km, ανάλογα με το ύψος λειτουργίας της και την ελάχιστη δυνατή γωνία με την οποία τα τερματικά στο έδαφος θα μπορούν να επικοινωνούν με αυτήν. Η συνολική περιοχή κάλυψης μίας στρατοσφαιρικής πλατφόρμας διαιρείται σε τρεις ζώνες:

- Ζώνη αστικής κάλυψης UAC (Urban Area Coverage) : Οι γωνίες ανύψωσης των επίγειων σταθμών ως προς την πλατφόρμα κυμαίνονται μεταξύ 30 και 90 μοιρών. Η περιοχή κάλυψης στη ζώνη αυτή εκτείνεται από το σημείο ναδιρ κάτω από την πλατφόρμα έως τα 36 ή 43 km, ανάλογα με το ύψος λειτουργίας της πλατφόρμας. Σε μεγαλύτερα υψόμετρα αντιστοιχούν μεγαλύτερες περιοχές κάλυψης. Οι χρήστες σε αυτή τη ζώνη μπορούν να χρησιμοποιήσουν φορητές τερματικές συσκευές με εύρος δέσμης περίπου 11°, ή κεραιές κέρδους 26 dBi και

διαστάσεων 10cmx10 cm. Η κεραία της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας, η οποία θα χρησιμοποιείται για την προς τα κάτω ζεύξη με τα τερματικά εδάφους της αστικής ζώνης, θα πρέπει να έχει ένα κέρδος περίπου 30 dBi (1 Watt ισχύος RF ανά κανάλι). Τα τερματικά των χρηστών απαιτούν περίπου 0.15 W εκπεμπόμενης RF ισχύος. Οι κεραίες στον εναέριο σταθμό πρέπει να έχουν κέρδος 30 dBi (1 Watt RF ισχύος ανά κανάλι).

- Ζώνη προαστιακής κάλυψης SAC (Suburban Area Coverage) : Οι γωνίες ανύψωσης των επίγειων σταθμών ως προς την πλατφόρμα κυμαίνονται μεταξύ 15 και 30 μοιρών. Η περιοχή κάλυψης στην περίπτωση αυτή εκτείνεται από τα όρια της ζώνης UAC έως τα 76.5 ή 90.5 km αναλόγως και πάλι το ύψος που είναι τοποθετημένο το HAP. Οι χρήστες σε αυτή τη ζώνη χρησιμοποιούν κατευθυντικές κεραίες μεγαλύτερου κέρδους (41dBi) με ισχύ εκπομπής 0.2 W. Οι ίδιες κεραίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στις ζώνες UAC για σταθερή εγκατάσταση σε οροφές κτιρίων. Η εναέρια πλατφόρμα έχει όπως και πριν κεραίες κέρδους 30 dBi.
- Ζώνη αγροτικής κάλυψης RAC (Rural Area Coverage) : Οι γωνίες ανύψωσης από 5 έως 15 μοίρες και η περιοχή κάλυψης υπολογίζεται ότι φτάνει από τα όρια της ζώνης SAC έως τα 203 ή 234 km ανάλογα με το ύψος της πλατφόρμας. Η αγροτική ζώνη αναμένεται να αφιερωθεί στην υψηλής ταχύτητας, σημείου προς σημείο πρόσβαση και στην ευρεία κάλυψη περιοχών κάνοντας χρήση χαμηλότερων συχνοτήτων, από 800 MHz έως 5 GHz, καθώς η εξασθένηση που προκαλείται από τη βροχή και άλλα ατμοσφαιρικά φαινόμενα στα 47/48 GHz είναι πολύ μεγάλη.

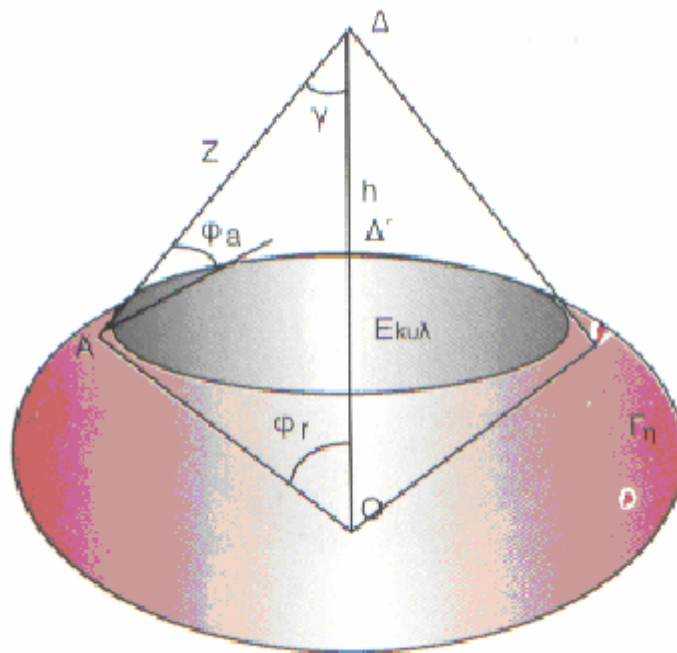
1.6.2.1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά ενός στρατοσφαιρικού συστήματος

Από τηλεπικοινωνιακής σκοπιάς είναι χρήσιμο να εξεταστούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του στρατοσφαιρικού συστήματος, καθώς επίσης και οι παρακάτω παράμετροι:

- Η περιοχή κάλυψης, δηλαδή η περιοχή της επιφάνειας της γης από την οποία η πλατφόρμα «φαίνεται» με μία γωνία ανύψωσης μεγαλύτερη από μία προκαθορισμένη τιμή φ_a . Θα πρέπει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι η γωνία ανύψωσης ενός τόπου A, είναι η γωνία που σχηματίζεται από την εφαπτομένη στην επιφάνεια της γης στο σημείο A και από την ευθεία που ενώνει τον επίγειο σταθμό A με την πλατφόρμα Δ.

- Η πραγματική απόσταση του επίγειου σταθμού με την πλατφόρμα Z (σχήμα 1.5), που συνδέεται άμεσα με τις χρονικές καθυστερήσεις και τις αποσβέσεις της τηλεπικοινωνιακής ζεύξης.

Στο Σχήμα 1.19 φαίνεται η επιφάνεια κάλυψης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας, πάνω στην επιφάνεια της γης, από κάθε σημείο της οποίας η πλατφόρμα «φαίνεται» υπό γωνία ανύψωσης μεγαλύτερη από την προκαθορισμένη τιμή ϕ_a .



Σχήμα 1.19 Επιφάνεια κάλυψης στρατοσφαιρικής πλατφόρμας

Με εφαρμογή του νόμου των ημιτόνων στο τρίγωνο ΟΑΔ έχουμε:

$$\frac{A\Delta}{\sin \phi_r} = \frac{R_\Gamma}{\sin \gamma} = \frac{R_\Gamma + h}{\sin(90 + \phi_a)} \Rightarrow \frac{A\Delta}{\sin \phi_r} = \frac{R_\Gamma}{\sin \gamma} = \frac{R_\Gamma + h}{\cos \phi_a} \quad (1.1)$$

Επειδή $(AE) \perp (OA) \Rightarrow \gamma + \phi_a + \phi_\gamma = 90^\circ$ (1.2)

Από τις σχέσεις (1.1) και (1.2) προκύπτει ότι

$$\frac{R_\Gamma}{\sin(90 - \phi_a - \phi_\gamma)} = \frac{R_\Gamma + h}{\cos \phi_a} \Rightarrow \frac{\cos(\phi_a + \phi_\gamma)}{R_\Gamma} = \frac{\cos \phi_a}{R_\Gamma + h} \Rightarrow$$

$$\phi_a + \phi_\gamma = \arccos\left(\frac{R_\Gamma \cos \phi_a}{R_\Gamma + h}\right) \Rightarrow \phi_\gamma = \arccos\left(\frac{R_\Gamma \cos \phi_a}{R_\Gamma + h}\right) - \phi_a \quad (1.3)$$

$$\phi_a = \arctan\left(\frac{\cos \phi_\gamma - R_\Gamma / (R_\Gamma + h)}{\sin \phi_\gamma}\right) \quad (1.4)$$

Η απόσταση Z του επίγειου σταθμού A από την πλατφόρμα Δ, μπορεί να εκφραστεί με τη βοήθεια του νόμου των συνημιτόνων στο τρίγωνο OAD ως εξής:

$$Z = \sqrt{(R_\Gamma \sin \phi_a)^2 + 2R_\Gamma h + h^2} - R_\Gamma \sin \phi_a \quad (1.5)$$

Από τις σχέσεις (1.1) και (1.2) προκύπτει ότι

$$(A\Delta) = \frac{R_\Gamma \sin \phi_\gamma}{\sin \gamma} = \frac{R_\Gamma \sin \phi_\gamma}{\cos(\phi_\gamma + \phi_a)} \quad (1.6)$$

Η ακτίνα της περιοχής κάλυψης δίνεται από τη σχέση:

$$(A\Delta') = \phi_\gamma R_\Gamma = 6371 \phi_\gamma \text{ km} \quad (1.7)$$

Με βάση τις παραπάνω σχέσεις υπολογίζουμε την ακτίνα ραδιοκάλυψης της κάθε ζώνης της περιοχής κάλυψης για διαφορετικά ύψη της πλατφόρμας:

Ζώνη κάλυψης	Γωνία ανύψωσης (μοίρες)	Βεληνεκές εδάφους (km)			
		Πλατφόρμα στα 3 km	Πλατφόρμα στα 15 km	Πλατφόρμα στα 21 km	Πλατφόρμα στα 25 km
UAC	90 – 30	0-5.19	0-25.83	0 – 36	0 – 43
SAC	30 – 15	5.19-11.15	25.83-55	36 – 76.5	43 – 90.5
RAC	15 – 5	11.15-33.28	55-150.7	76.5 – 203	90.5 – 234
Επιφάνεια κάλυψης (km²)	15 – 5	3479.5	71347	129461	172021

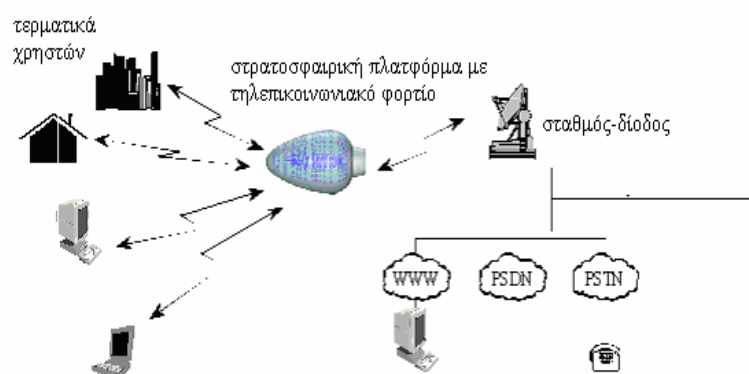
Πίνακας 1.6 Ακτίνες ζωνών κάλυψης

Η ελάχιστη γωνία ανύψωσης καθορίζει την περιοχή κάλυψης και παροχής υπηρεσιών στους επίγειους χρήστες από μία στρατοσφαιρική πλατφόρμα. Εάν υιοθετηθεί η ελάχιστη πιθανή γωνία ανύψωσης, τότε επιτυγχάνεται η μεγαλύτερη περιοχή κάλυψης. Ωστόσο αυξάνονται οι απώλειες ελευθέρου χώρου και οι απώλειες λόγω βροχής καθώς αυξάνεται το μήκος της ραδιοζεύξης και έτσι απαιτείται μεγαλύτερη ακτινοβολούμενη ισχύς για να καλύψει το αυξημένο περιθώριο εξασθένησης. Όσο μεγαλύτερη είναι η ελάχιστη γωνία ανύψωσης, τόσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των στρατοσφαιρικών πλατφόρμων που απαιτούνται για την κάλυψη της ίδιας περιοχής στο έδαφος.

1.6.3 Δίκτυα Στρατοσφαιρικών πλατφόρμων

Ένα δίκτυο στρατοσφαιρικής πλατφόρμας δημιουργείται με τοπολογία αστέρα, με την πλατφόρμα να λειτουργεί ως το κεντρικό σημείο. Μια τυπική πλατφόρμα HAPS θα είναι εξοπλισμένη με κεραιές σχισμοσειράς, πολλαπλών δεσμών. Οι κεραιές αυτές θα εισάγουν πόλωση, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται κατάλληλη απομόνωση των δυο κάθετα πολωμένων σημάτων. Οι κεραιές αυτές θα εκπέμπουν 700 δέσμες σε κάθε αστική και προαστική ζώνη κάλυψης, ενώ στην αγροτική ζώνη θα παρέχεται επιλεκτική κάλυψη έως 700 δεσμών. Το σχέδιο θα έχει συντελεστή επαναχρησιμοποίησης συχνότητας 7:1.

Το εναέριο τηλεπικοινωνιακό φορτίο που εκπέμπει πολλαπλές σημειακές δέσμες στο έδαφος θα παρέχει ευρεία κάλυψη σε μία περιοχή του εδάφους με πάνω από 150 km κυκλική διάμετρο.



Σχήμα 1.20 Δίκτυο στρατοσφαιρικής πλατφόρμας

Για την μεγιστοποίηση της φασματικής απόδοσης, χρησιμοποιείται ένα δυναμικό σχέδιο πολλαπλής πρόσβασης (DAMA – Dynamic Assignment Multiple Access), που επιτρέπει στους χρήστες να μοιραστούν αποδοτικότερα το εύρος ζώνης. Πάνω στην πλατφόρμα θα υπάρχουν ασύγχρονοι μεταγωγείς (switches) ATM, που θα βρίσκονται σε κατάσταση μεταφοράς και πολυπλέκτες ATM, που θα πολυπλέκουν στατιστικά την κίνηση των χρηστών. Τόσο η προς τα πάνω όσο και η προς τα κάτω ζεύξη θα χρησιμοποιούν QPSK διαμόρφωση και κωδικοποίηση εμπρόσθιας διόρθωσης λαθών (FEC – Forward Error Correction), με ρυθμό 0.6 (Reed-Solomon + ρυθμός 2/3 συνελκτικό κώδικας με περιοριστικό μήκος 9). Επίσης για την εξάλειψη των λαθών καταιγισμού (burst error) θα χρησιμοποιείται κώδικας διαφυγής (interleave).

Εξαιτίας της αποδοτικής κατανομής του εύρους ζώνης και του χαμηλού κύκλου συντελεστή (low-duty factor) των περισσότερων τύπων ευρυζωνικής κίνησης, η λειτουργία του στρατοσφαιρικού δικτύου με 2x100 MHz ανατιθέμενο εύρος ζώνης θα μπορεί να υποστηρίξει ταυτόχρονα 110560 χρήστες, ενώ ο μέγιστος ρυθμός φορτίου αναμένεται να αγγίξει τα 2.048 Mbits/s για την προς τα πάνω ζεύξη, ενώ για την προς τα κάτω ζεύξη ο μέγιστος ρυθμός θα είναι 11.24 Mbits/s. Αν υποθέσουμε ότι το 10% του συνολικού αριθμού συνδρομητών, είναι ενεργοί, δηλαδή επικοινωνούν με την πλατφόρμα μια δεδομένη χρονική στιγμή, ένα απλό στρατοσφαιρικό δίκτυο HAPS (HAP Network) μπορεί να υποστηρίξει ένα αριθμό συνδρομητών της τάξεως του ενός εκατομμυρίου περίπου, με δεδομένη τη χρήση ενός εύρους συχνοτήτων 2x100 MHz. Αν το εύρος ζώνης αυξηθεί σε 2x300 MHz, τότε το δίκτυο HAPS αναμένεται να μπορεί να υποστηρίξει περισσότερους από πέντε εκατομμύρια συνδρομητές.

Το στρατοσφαιρικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα θα χρησιμοποιεί ένα ζευγάρι συχνοτήτων στις ζώνες από 47.2 έως 48.2 GHz, εύρους ζώνης από 100 έως και 300 MHz, για κάθε ζεύξη. Με συντελεστή επαναχρησιμοποίησης συχνότητας 7, μια ανάθεση συχνοτήτων εύρους 2x100 MHz θα επαναχρησιμοποιείται 100 φορές σε κάθε ζώνη κάλυψης. Κάθε χρονοσχισμή TDMA, άνω ζεύξης, μεταφέρει μια κυψέλη ATM. Η ασύγχρονη φύση του ATM προσφέρει μεγάλη ευελιξία έτσι ώστε για παράδειγμα να μη χρειάζεται πλάνο για χρόνους καταιγισμών. Το προαναφερθέν σχήμα DAMA θα συμπληρωθεί με την διαχείριση κλήσης και κίνησης από τα ATM, για την μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας της διαχείρισης των τηλεπικοινωνιακών πόρων.

1.6.4 Σταθμοί-Δίοδοι και Τερματικά

Τα επίγεια τερματικά των χρηστών είναι φορητές συσκευές που επικοινωνούν απ' ευθείας με την πλατφόρμα. Μια τερματική συσκευή αποτελείται από μια μονάδα κεραίας και από μια μονάδα ψηφιακής διεπαφής. Η διεπαφή ενδέχεται να είναι κάρτα υπολογιστή ή κουτί set - top πολλαπλών λειτουργιών. Οι επικοινωνίες από χρήστη σε χρήστη (user – to – user) κατευθύνονται απ' ευθείας από το φορτίο της πλατφόρμας που περιέχει έναν μεγάλο μεταγωγέα ATM. Στην προς τα κάτω ζεύξη τα τερματικά λαμβάνουν διαρκώς, αλλά κρατούν μόνο τα σήματα στις κυψέλες που έχει

το δικαίωμα. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση της στατιστικής πολυπλεξίας του ATM μεταγωγέα.

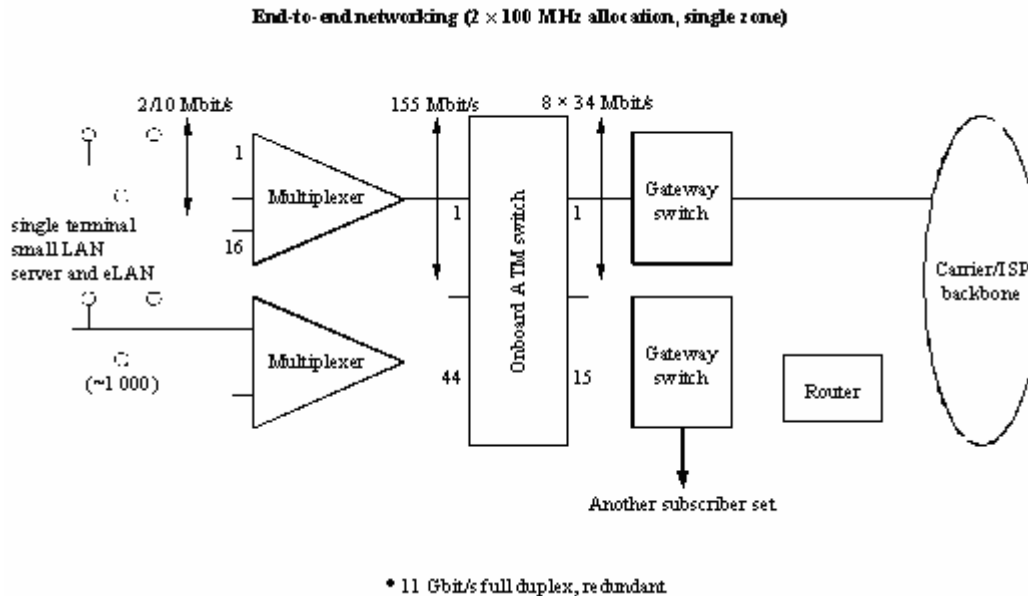
Το βασικό δίκτυο περιλαμβάνει επίσης πολλούς σταθμούς – πύλες στο έδαφος, που χρησιμοποιούν, για κάθε ζεύξη, υψηλής ταχύτητας, πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου TDM με σκοπό την διασύνδεση του δικτύου HAPS με το δημόσιο τηλεφωνικό μεταγωγικό δίκτυο PSTN (Public Switched Telephone Network) και το Internet. Ο ρυθμός τροφοδοσίας, με τον οποίο οι σταθμοί-πύλες επικοινωνούν με το σταθερό τηλεφωνικό δίκτυο ή το Internet, για μια κατανομή συχνοτήτων 300/300 MHz, ξεπερνά τα 0.72 Gbits/s. Για τη βελτιστοποίηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης χρησιμοποιείται διαμόρφωση 64-QAM και κωδικοποίηση FEC με ρυθμό 0.71. Επιπρόσθετες σημείου προς σημείο ζεύξεις μεγάλης ταχύτητας ενδεχομένως να παρασχεθούν σε συλλογικούς χρήστες και παρόχους υπηρεσιών.

Οι σταθμοί-πύλες επιτρέπουν στους χρήστες την πρόσβαση στα υπάρχοντα δημόσια σταθερά δίκτυα, όπως το τηλεφωνικό δίκτυο PSTN και το Internet. Το σύστημα έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε σταθμοί-πύλες να εντοπίζονται, ουσιαστικά, παντού εντός της περιοχής, γεγονός που θα μειώσει την απαιτούμενη επίγεια υποδομή. Ανάλογα με τις εκάστοτε απαιτήσεις, μπορούν να προστεθούν επιπλέον σταθμοί-δίοδοι. Συνήθως τοποθετούνται στο κεντρικό γραφείο CO (central office) κάποιου κομιστή ή στο λεγόμενο σημείο παρουσίας PoP (Point of Presence) ενός παροχέα υπηρεσιών Internet ISP (Internet Service Provider) που λειτουργεί σαν επιλογικό κέντρο. Επιπλέον σταθμοί-πύλες μπορούν να τοποθετηθούν στο δίκτυο όποτε κρίνεται αναγκαίο.

Ένας σταθμός-πύλη θα χρησιμοποιεί τις ίδιες συχνότητες με τα επίγεια τερματικά, εκτός από τις συχνότητες της κυψέλης του τομέα που βρίσκεται. Ο κάθε σταθμός-πύλη θα χρησιμοποιεί, επομένως, ένα μεγάλο μέρος του συνολικά ανατιθέμενου εύρους ζώνης. Επιπλέον, θα χρησιμοποιεί αντίθετη πόλωση από αυτήν που χρησιμοποιούν τα επίγεια τερματικά της κυψέλης που βρίσκεται έτσι ώστε να εξασφαλιστεί επιπρόσθετη απομόνωση.

Στα στρατοσφαιρικά συστήματα 1^{ης} γενιάς δεν προβλέπεται η απευθείας ζεύξη μεταξύ δύο διαφορετικών στρατοσφαιρικών συστημάτων HAPS. Οι επικοινωνίες ανάμεσα σε διαφορετικά συστήματα HAPS θα γίνονται μέσω των σταθμών-πυλών. Η χωρητικότητα του σταθμού-διόδου είναι 4 έως 12 Gbits/s και έχει τη δυνατότητα να χειριστεί το 60% της συνολικής κίνησης των χρηστών. Η συνολική χωρητικότητα της του φορτίου θα κυμαίνεται από 11 έως 33 Gbits/s.

Από την μεριά του χρήστη, ευφυείς ATM πολυπλέκτες χρησιμοποιούνται για την μείωση του αριθμού των θυρών του κεντρικού μεταγωγέα. Κάθε ATM πολυπλέκτης πολυπλέκει 16 δέσμες σε μια θύρα OC3 (Οπτικό φέρον, βαθμού 3 (155.52 Mbits/s)) στον διακόπτη. απαιτούνται τουλάχιστον 44 τέτοιες θύρες για την διαχείριση πάνω από 1400 δεσμών. Το δυναμικό TDMA μετατρέπει κάθε δέσμη σε δίαυλο. Μέχρι 1000 τερματικά μπορούν να είναι εγγεγραμμένα ταυτόχρονα. Η σχεδίαση βασικά απαιτεί από τον ATM πολυπλέκτη να μπορεί να διαχειριστεί το μη σταθερό κομμάτι κομμάτι των πρωτοκόλλων σηματοδοσίας, έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σταθεροί μεταγωγείς ATM.



Σχήμα 1.21 Διασύνδεση του κεντρικού μεταγωγέα του σταθμού της πλατφόρμας με τα επίγεια τερματικά και τους σταθμούς-διόδους

Ο προϋπολογισμός του βάρους και της ισχύος περιλαμβάνει όλον τον εξοπλισμό βασικής ζώνης, δηλαδή τον μεταγωγέα ATM και τους πολυπλέκτες.

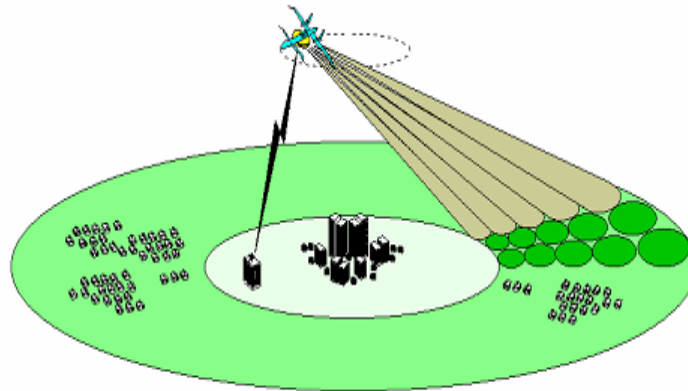
1.6.5 Σύστημα Ελέγχου

Το σύστημα εδάφους αποτελείται από τους σταθμούς-πύλες και το κέντρο ελέγχου της πλατφόρμας. Κάθε σταθμός-πύλη θα χρησιμοποιεί υψηλού κέρδους κατευθυνόμενες κεραιές, με στενές δέσμες. Οι κεραιές των σταθμών-διόδων θα είναι ικανές να στρέφουν την δέσμη τους με ηλεκτρονικό τρόπο. Ο RF εξοπλισμός είναι παρόμοιος με εκείνον που βρίσκεται πάνω στην στρατοσφαιρική πλατφόρμα. Ο διακόπτης ATM που χρειάζεται αποτελείται από τέσσερις OC3 θύρες, περίπου, συν οτιδήποτε άλλο είναι απαραίτητο για τοπικούς εξυπηρετητές και τη διαχείριση του δικτύου. Ίσως χρειαστούν και ένα πλήθος διεπαφών για την σύνδεση με τα υπάρχοντα δημόσια δίκτυα, τα περισσότερα των οποίων είναι σε λειτουργία σήμερα, ή τα οποία σύντομα θα είναι διαθέσιμα. Το σύστημα είναι σχεδιασμένο να είναι συμβατό με τους υπάρχοντες κανόνες και πρωτόκολλα.

Η πλειονότητα των πυλών (gateways) αναμένεται να είναι μη επανδρωμένες, αυτόνομες μονάδες που θα λειτουργούν με τηλεχειρισμό από το κέντρο ελέγχου της πλατφόρμας. .. Το κέντρο αυτό αποτελείται από έναν σταθμό – πύλη που παρέχει επικοινωνία με το φορτίο και το υπόλοιπο σύστημα, και τέσσερις λειτουργικές και διαχειριστικές οντότητες,. Το κέντρο ελέγχου διαμόρφωσης υλικού (hardware configuration control center) είναι υπεύθυνο για τον εντοπισμό, την τηλεμετρία και τις εντολές που πρέπει να δοθούν στην πλατφόρμα και το φορτίο της. Μοιάζει πολύ με ένα δορυφορικό κέντρο συνεχούς λειτουργίας.

Το κέντρο ελέγχου επικοινωνιακών πόρων (communications resource control center) είναι υπεύθυνο για όλο τον έλεγχο, πραγματικού χρόνου, των πόρων του δικτύου. Σε αυτούς συγκαταλέγονται η πιστοποίηση της ταυτότητας του χρήστη, ο έλεγχος των κλήσεων, η διαχείριση του ραδιοφάσματος και της κίνησης και η συλλογή δεδομένων χρήσης για μετέπειτα διαδικασίες χρέωσης.

Το κέντρο ελέγχου απομακρυσμένων επίγειων σταθμών (remote ground station control center) εκτελεί εργασίες διαχείρισης σταθμών μη πραγματικού χρόνου. Αποτελεί υποχρεωτικά το κέντρο διαχείρισης δικτύου NOC (network operations center) του συστήματος, ενώ κάποιες αρμοδιότητές του επεκτείνονται και σε παρακείμενα HAPSs (HAP Systems).



Σχήμα 1.22 - Προβολή δεσμών στην προαστική ζώνη κάλυψης

Τέλος, το περιφερειακό επιχειρησιακό κέντρο (regional business center) είναι υπεύθυνο για τις τοπικές αρμοδιότητες και τον οικονομικό έλεγχο, συμπεριλαμβανομένων των λογαριασμών, της χρέωσης των πελατών και της ανάλυσης των γενικών τάσεων. Το κέντρο αυτό έχει τη δυνατότητα να χειρίζεται ένα σύνολο από συστήματα HAP.

1.6.6 Χαρακτηριστικά εκπομπής Σταθμού Πλατφόρμας

Τυπικά χαρακτηριστικά του πομπού και της κεραίας μιας στρατοσφαιρικής πλατφόρμας δίνονται στον πίνακα 1.7:

Επικοινωνία προς	Ισχύς πομπού (dBW)	Κέρδος κεραίας (dBi)
Αστική ζώνη (UAC)	1.3	30
Προαστική ζώνη (SAC)	1.3	30
Αγροτική ζώνη (RAC)	3.5	41
Σταθμό-Δίοδο (UAC)	0.0	35
Σταθμό-Δίοδο (SAC)	9.7	38

Πίνακας 1.7 Χαρακτηριστικά σταθμού πλατφόρμας

Υποθέτοντας μια ανάθεση φάσματος της τάξεως των 2x100 MHz, οι επικοινωνίες με τα επίγεια τερματικά θα χρησιμοποιούν TDM 4-PSK διαμόρφωση, με εύρος ζώνης 11 MHz για την προς τα κάτω ζεύξη και 2.2 MHz για την προς τα πάνω ζεύξη. Οι επικοινωνίες με τους σταθμούς-διόδους θα χρησιμοποιούν υψηλού επιπέδου διαμόρφωση 64-QAM, με εύρος ζώνης 88 MHz (11 MHz ανά φέρον). Εάν διατεθεί φάσμα συχνοτήτων 3x100 MHz, είναι πιθανόν τα τερματικά να επικοινωνούν με την πλατφόρμα με εύρος ζώνης 33 MHz για την προς τα κάτω ζεύξη.

1.6.7 Τερματικά Χρήστη UT και Σταθμοί-Πύλες

Οι αντίστοιχες παράμετροι για τους σταθμούς εδάφους (τερματικούς ή διόδους) δίνονται στον Πίνακα 1.8. Για την προς τα πάνω ζεύξη τα τερματικά θα χρησιμοποιούν απαιτητικό ανατιθέμενο πολυφέρον TDMA με διαμόρφωση QPSK, ενώ οι σταθμοί-διόδοι θα χρησιμοποιούν παρόμοιες τεχνικές με εκείνες της που χρησιμοποιεί η στρατοσφαιρική πλατφόρμα.

Επικοινωνία προς	Ισχύς πομπού (dBW)	Κέρδος κεραίας (dBi)
Αστική ζώνη (UAC)	-8.2	23
Προαστική ζώνη (SAC)	-7.0	38
Αγροτική ζώνη (RAC)	-1.5	38
Σταθμό-Δίοδο (UAC)	1.7	46
Σταθμό-Δίοδο (SAC)	13.4	46

Πίνακας 1.8 Χαρακτηριστικά τερματικών και σταθμών-διόδων

1.6.8 Διαγράμματα Ακτινοβολίας Κεραίας

Τα διαγράμματα ακτινοβολίας για τις κεραίες των πλατφόρμων, συμμορφώνονται στην Προδιαγραφή ITU-R S.672. Οι σχέσεις των διαγραμμάτων ακτινοβολίας δίνονται από τους παρακάτω τύπους:

$$G(\psi) = G_m - 3(\psi/\psi_b)^{\alpha} \text{dBi}, \quad \text{για } \psi_b < \psi < \alpha\psi_b \quad (1.8)$$

$$G(\psi) = G_m + L_N + 20\log(z) \text{dBi}, \quad \text{για } \alpha\psi_b < \psi < 0.5b\psi_b \quad (1.9)$$

$$G(\psi) = G_m + L_N \text{ dBi}, \quad \text{για } 0.5b\psi_b < \psi < b\psi_b \quad (1.10)$$

$$G(\psi) = X - 25\log(\psi) \text{ dBi}, \quad \text{για } b\psi_b < \psi < Y \quad (1.11)$$

$$G(\psi) = L_F \text{ dBi}, \quad \text{για } Y < \psi < 90^\circ \quad (1.12)$$

$$G(\psi) = L_B \text{ dBi}, \quad \text{για } 90^\circ < \psi < 180^\circ \quad (1.13)$$

,όπου:

$$X = G_m + L_N + 25\log(b\psi_b) \text{ και } Y = b\psi_b * 10^{[0.04(G_m + L_N - L_F)]} \quad (1.14)$$

$G(\psi)$: κέρδος σε γωνία ψ σε σχέση την κατεύθυνση του κύριου λοβού (dBi)

G_m : μέγιστο κέρδος του κυρίου λοβού (dBi)

ψ_b : γωνία ημίσεως ισχύος (μοίρες)

L_N : επίπεδο «κώνου» του πλαϊνού λοβού (dB) αναφορικά με το ύψος του κέρδους που απαιτείται από τον σχεδιασμό του συστήματος

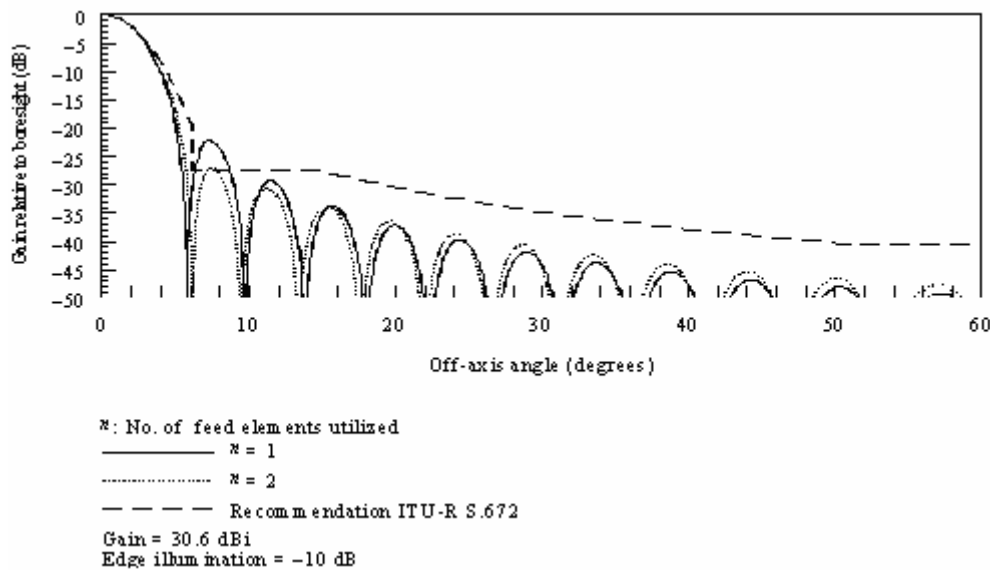
L_F : 0 dBi επίπεδο μακρινού πλευρικού λοβού (dBi)

z : (κύριος άξονας / μείζων άξονας) για την δέσμη που ακτινοβολεί

L_B : $15 + L_N + 0.25G_m + 5\log z$ dBi ή 0 dBi ανάλογα με το ποιο είναι μεγαλύτερο

L_N (dB)	A	b	A
-20	$2.58(1 - \log z)^{1/2}$	6.32	2
-25	$2.58(1 - 0.8\log z)^{1/2}$	6.32	2
-30	–	6.32	–

Πίνακας 1.9 Τιμές των παραμέτρων για τον υπολογισμό του L_N



Διάγραμμα 1.5 Διάγραμμα ακτινοβολίας κεραίας σταθμού πλατφόρμας

1.7 Απόκριση φίλτρου RF και εκτός ζώνης εκπομπή

Στις ζεύξεις των χρηστών χρησιμοποιείται QPSK διαμόρφωση. Η προκύπτουσα φασματική πυκνότητα ισχύος μειώνεται με τετραγωνικό ρυθμό συναρτήσει του μεγέθους “συχνότητα εκπομπής μείον συχνότητα φέροντος”.

$$S_{\text{QPSK}} := C \cdot A^2 \cdot T_b \cdot \left| \left[\frac{\sin[2 \pi (f - f_c) \cdot T_b]}{2 \pi \cdot (f - f_c) \cdot T_b} \right]^2 \right|$$

όπου

$C \cdot A^2$: κανονικοποιημένη συνολική ισχύς σήματος άπειρου εύρους ζώνης, πάνω σε 1 Ω αντίσταση.

f_b : ρυθμός Bit

$T_b = 1/f_b$: διάρκεια Bit

f_c : συχνότητα φέροντος

.Με τεχνικές διαμόρφωσης περισσότερο προηγμένες, όπως το πατενταρισμένο 4-PSK-FK [Kato και Feher, 1983], είναι δυνατό να επιτύχουμε μια πιο απότομη εξασθένιση, με καλύτερο διαχωρισμό συχνότητας.

Για την μείωση της παρεμβολής (ISI - Inter Symbol Interference) και της περαιτέρω μείωσης της εκτός ζώνης εκπομπής (OoB - Out of Bound) είναι αναγκαίο επιπρόσθετο φιλτράρισμα. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί με ένα ανυψωμένο

φίλτρο συνημίτονου, το οποίο μπορεί να εκπληρωθεί είτε μόνο με φίλτρα επιφανειακών ακουστικών κυμάτων (SAW - Surface Acoustic Waves), ή με ένα συνδυασμό από ψηφιακό, βασικής ζώνης και αναλογικό φιλτράρισμα, χρησιμοποιώντας φίλτρα SAW.

Οι τεχνικές των φίλτρων SAW είναι εξαιρετικά εύκαμπτες, κάθε γραμμικό ζωνοπερατό φίλτρο μπορεί να συντεθεί, με αυθαίρετο πλάτος και φάση, περιοριζόμενο μόνο από το μέγεθος του κρυστάλλου. Τυπικά, τα μιας φάσης ομοιοκατευθυντικά φίλτρα SAW τύπου SPUDT (Single Phase Undirectional Transducer) μπορούν να μειώσουν την εκτός ζώνης εκπομπή πάνω από 60 dB, με μια ζωνοπερατή ομαλοποίηση μικρότερη από 0.5 dB από κορυφή σε κορυφή, και μια κυμάτωση φάσης λιγότερο από 1°. Αυτό, μαζί με μια άλλη μείωση 16 dB ($10\log 4\pi^2$) στον πρώτο πλαϊνό λοβό της QPSK καμπύλης, της φασματικής πυκνότητας ισχύος, δίνει μια μείωση κατά 75 dB της εκτός ζώνης εκπομπής, που είναι και ρεαλιστικά πραγματοποιήσιμη.

Για να πραγματοποιήσουμε περισσότερο από 80 dB απόρριψης κοντινών καναλιών, ένας συνδυασμός σε σειρά από δύο φίλτρα SAW είναι η μόνη πρακτική λύση, με μια εισερχόμενη απώλεια όμως κατά 6 dB. Αυτή είναι ακριβώς η τεχνική που χρησιμοποιείται από τους κατασκευαστές handset CDMA, για την μείωση της παρεμβολής κοντινού καναλιού με τους σταθμούς βάσης PCS σε λιγότερο από -80 dB. Σύγχρονα, μικρής εισερχόμενης απώλειας, SPUDT φίλτρα έχουν ενισχυτές με υψηλά σημεία κορεσμού και αποδοτικού χειρισμού ισχύος. Μιας και τα φίλτρα SPUDT δεν είναι αναγκαίο να οδηγηθούν κοντά στον κορεσμό, για να επιτευχθεί μέγιστη απόδοση ισχύος, κάθε μη γραμμική δημιουργία νόθας εκπομπής μπορεί με ασφάλεια να αγνοηθεί.

1.8 Προβλήματα

Παρόλο που τα τελευταία χρόνια υπάρχει ένα συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον από πολλές εταιρείες για την ανάπτυξη στρατοσφαιρικών πλατφόρμων HAPS, κάποια τεχνικά και μη προβλήματα παραμένουν ακόμα άλυτα και τα οποία εμποδίζουν την κατασκευή και λειτουργία τους.

1.8.1 Ενεργειακά Προβλήματα

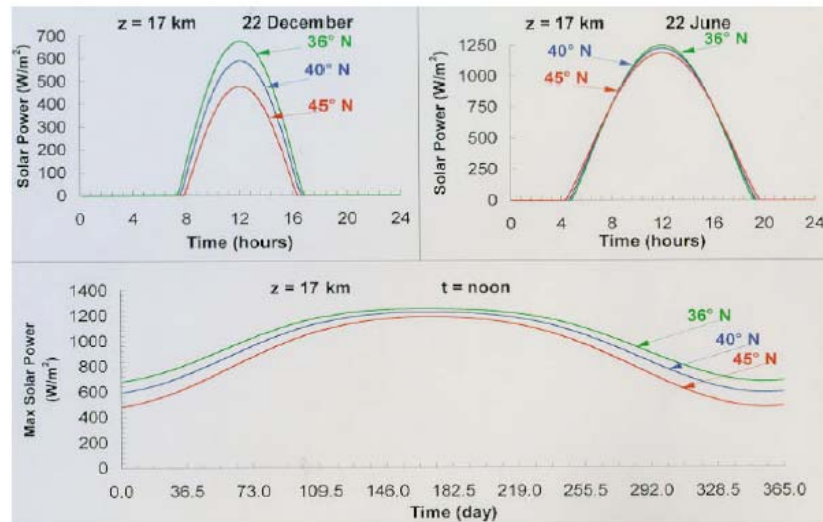
Η επιλογή πηγής ενέργειας είναι βαρύνουσας σημασίας. Ένας αρχικός σχεδιασμός πρότεινε την εκπομπή μικροκυματικών ακτίνων από επίγειους σταθμούς. Η λύση αυτή όμως απορρίφθηκε αφού η αποδοτικότητα της εκπομπής θα ήταν χαμηλή, το κόστος του επίγειου σταθμού σχετικά υψηλό και μεγάλο μέρος της ακτινοβολίας θα εκπεμπόταν αναπόφευκτα και σε άλλα ιπτάμενα αντικείμενα.

Μία διαφορετική προσέγγιση του ενεργειακού θέματος αφορά τη χρήση φυσικού καυσίμου. Η υλοποίηση όμως αυτής της ιδέας θα καθιστούσε την πλατφόρμα ιδιαίτερα βαριά και επακόλουθα ακριβή την ανύψωσή, την τοποθέση και τη συντήρησή της σε στρατοσφαιρικό υψόμετρο.

Η ηλιακή ενέργεια έχει αξιοσημείωτα θετικές προοπτικές, ιδιαίτερα αν αναλογιστούμε ότι είτε για αεροδυναμική ανύψωση στη λεπτή ατμόσφαιρα, είτε για άνωση, οι πλατφόρμες θα περιλαμβάνουν μεγάλες επιφάνειες κατάλληλες για συλλογή ενέργειας. Ειδικότερα οι πλατφόρμες τύπου Zeppelin χρησιμοποιούν όλες σαν πηγή ενέργειας τον ήλιο. Στο επίπεδο του ισημερινού, η ηλιακή πυκνότητα ισχύος μπορεί να ανέλθει στα 1300 W/m^2 , η οποία είναι επαρκής ως πηγή ενέργειας για τη λειτουργία ενός HAP, ακόμα και αν υποθέσουμε ότι η αποδοτικότητα των ηλιακών κυττάρων είναι 10-15%. Η συλλογή ενέργειας, μέσω των ηλιακών κυψελών, θα πρέπει να είναι επαρκής τόσο για την κίνηση της πλατφόρμας, όσο και για την λειτουργία της σαν τηλεπικοινωνιακός σταθμός, κατά την διάρκεια της νύχτας. Για μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών, η διαθέσιμη πυκνότητα ισχύος για νυχτερινή χρήση δεν είναι επαρκής. Η προσθήκη μπαταριών, όπως λιθίου – ίον 110 Whr/kg , δημιουργεί μία πολύ μεγάλη και ακριβή πλατφόρμα.

Επίσης, οι μπαταρίες που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και να είναι αποδοτικές. Έτσι κρίνεται αναγκαία η χρησιμοποίηση όσο το δυνατόν αποδοτικότερων ηλιακών κυψελών και ικανών μπαταριών, για την εξοικονόμηση επαρκών ποσών ενέργειας. Πολλά διαφορετικά σχέδια έχουν αντιμετωπίσει το σχεδιασμό ενός ηλιακά τροφοδοτούμενου, μεγάλης οράς διάρκειας αεροσκάφους. Το πιο κατάλληλο εξ' αυτών αφορά την έρευνα που διενεργήθηκε από το πρόγραμμα ERAST της NASA, η οποία απέδωσε μία πλατφόρμα με το όνομα Helios. Το σχέδιο τέθηκε σε εφαρμογή τον Αύγουστο του 2001, δημιουργώντας ένα νέο υψομετρικό ρεκόρ 96500ft χρησιμοποιώντας μία ηλιακώς τροφοδοτούμενη πλατφόρμα. Advanced Technologies Group προτείνει τη συμπλήρωση της ηλιακής ενέργειας με μηχανές εσωτερικής καύσης. Το μεγαλύτερο ποσοστό της διαθέσιμης πυκνότητας ισχύος καταναλώνεται από τα συστήματα προώθησης και σταθεροποίησης, τους RF ενισχυτές ισχύος και τις κεραίες. Γι' αυτό το λόγο η ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί πιο αποδοτικά με προσεκτική εκπομπή ακτίνων και σχεδιασμό κεραιών ή με αποδοτικά σχήματα διαμόρφωσης/κωδικοποίησης. Τα αερόπλοια μπορούν να αντέξουν ανάλογα επίπεδα ενέργειας με τα συμβατικά αεροπλάνα ($10\text{-}20 \text{ kW}$) εξαιτίας της μεγάλης επιφάνειας στην οποία τοποθετούνται ηλιακά κύτταρα. Αντίθετα, τα ηλιακώς τροφοδοτούμενα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να έχουν ωφέλιμο φορτίο με ενέργεια λιγότερη από 3 Kw .

Στο διάγραμμα 1.6 φαίνεται η ηλιακή ενέργεια για μια πλατφόρμα στα 17 km για διάφορες μέρες του χρόνου, ώρες και γεωγραφικά πλάτη. Παρατηρούμε ότι το χειμώνα που η διάρκεια της ημέρας είναι μικρότερη και ιδιαίτερα σε τοποθεσίες με μεγάλο γεωγραφικό πλάτος η ηλιακή ενέργεια είναι αρκετά χαμηλή. Η ενέργεια που μπορούν να συλλέξουν οι ηλιακές κυψέλες θα πρέπει να επαρκεί για την λειτουργία της πλατφόρμας ακόμα και σε μέρες με χαμηλή ηλιοφάνεια. Αυτό είναι και ένα μειονέκτημα των στρατοσφαιρικών συστημάτων HAPS σε σχέση με τα επίγεια συστήματα, στα οποία μπορούν να διατεθούν ανεξάντλητα ποσά ενέργειας.



Διάγραμμα 1.6 Ηλιακή ενέργεια για διάφορες χρονικές περιόδους ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος λειτουργίας της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας

1.8.2 Μη Επανδρωμένη Λειτουργία και Μεγάλη Διάρκεια Λειτουργίας

Άλλο ένα πρόβλημα αφορά την κατασκευή και χρησιμοποίηση πλατφόρμων, οι οποίες θα είναι πλήρως μη επανδρωμένες, αλλά οι οποίες θα μπορούν ταυτόχρονα να παραμένουν σε πολύ μεγάλα ύψη για μεγάλο διάστημα, από μερικούς μήνες έως και λίγα χρόνια. Βέβαια κάτι τέτοιο είναι πολύ δύσκολο με την τωρινή τεχνολογία. Η διαρροή αερίου και άλλα τεχνικά προβλήματα καθιστούν ουτοπιστικό τον μεγάλο χρόνο διαρκούς πτήσης.

1.8.3 Υλικά Κατασκευής

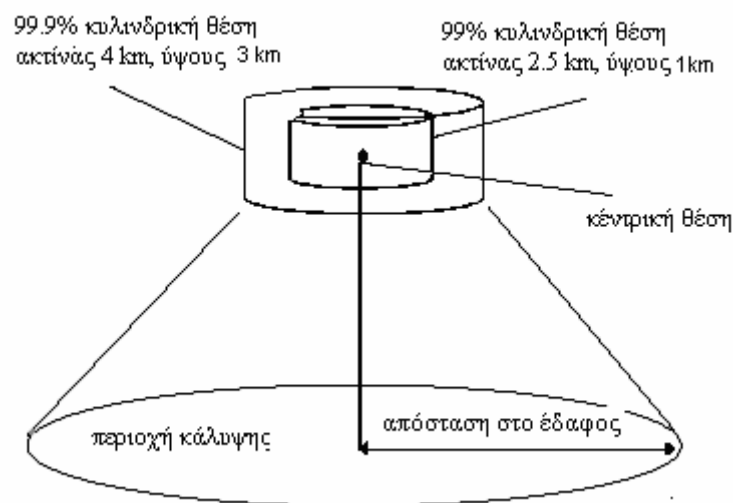
Όλα τα υλικά κατασκευής της πλατφόρμας θα πρέπει να είναι ελαφριά και ταυτόχρονα πολύ ανθεκτικά.. Επίσης τα υλικά αυτά θα πρέπει να μην επηρεάζουν τις τηλεπικοινωνιακές επιδόσεις του όλου συστήματος, θα πρέπει δηλαδή να μην επηρεάζονται από την ακτινοβολία και να μην ακτινοβολούν.

1.8.4 Σταθερότητα

Η σταθερότητα της πλατφόρμας πάνω από ένα σταθερό σημείο του εδάφους είναι επίσης ένα άλλο πρόβλημα. Από την σταθερότητα της εξαρτάται η σωστή εγκατάσταση των ζεύξεων μεταξύ της πλατφόρμας και των επίγειων τερματικών. Μια μικρή απόκλιση της πλατφόρμας θα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της στάθμης του σήματος που λαμβάνουν οι επίγειοι σταθμοί, αλλά και οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες.

Τόσο για τα αερόπλοια όσο και για τα αεροσκάφη, η κίνηση είναι ένα πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί. Τα αεροσκάφη συνήθως πετάνε σε έναν κύκλο ακτίνας περίπου 2 km ενώ τα αερόπλοια θεωρητικά μπορούν να παραμείνουν ακίνητα, με μόνο παράγοντα που μπορεί να τα μετακινήσει τους ανέμους που επικρατούν. Η ITU έχει ορίσει πως ένα HAP πρέπει να παραμένει μέσα σε ένα κύκλο ακτίνας 400 m, με κατακόρυφη μετατόπιση $\pm 700\text{m}$ έτσι ώστε οι υπηρεσίες να είναι διαθέσιμες για μεγάλο ποσοστό του χρόνου. Το Helinet Project έχει θέσει πιο ελαστικά όρια και επιτρέπει σε μία πλατφόρμα να βρίσκεται εντός των ορίων μίας μεγαλύτερης περιοχής. Συγκεκριμένα, έχει οριστεί ένας κύλινδρος ακτίνας 2.5 km και ύψους 1 km, εντός του οποίου οι υπηρεσίες θα είναι διαθέσιμες για ποσοστό 99.9% του συνολικού χρόνου ενώ εντός ενός μεγαλύτερου κυλίνδρου ακτίνας 4 km και ύψους 3 km οι υπηρεσίες θα είναι διαθέσιμες για 99% του χρόνου. Είναι πιο εύκολο για τα αερόπλοια να παραμένουν σχεδόν ακίνητα αλλά παράλληλα είναι δύσκολο να ελεγχθεί εξ αποστάσεως η θέση τους αφού αυτή επηρεάζεται από τους ανέμους και τις μεταβολές της πίεσης.

Ο διαφορικός αισθητήρας GPS που χρησιμοποιούν τα HAPs για τη διατήρηση της θέσης τους μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο στον ακριβή εντοπισμό της εναέριας πλατφόρμας.



Σχήμα 1.23 Χώρος μέσα στον οποίο πρέπει να εντοπίζεται μια στρατοσφαιρική πλατφόρμα, σε σχέση με ένα σταθερό σημείο στο έδαφος

Οι μηχανές με τις οποίες θα εξοπλιστούν οι πλατφόρμες θα πρέπει να είναι αρκετά δυνατές για να μπορούν να διατηρούν την πλατφόρμα ακίνητη ακόμα και σε αντίθετους ανέμους μεγάλων ταχυτήτων. Το πρόβλημα της ευστάθειας των στρατοσφαιρικών πλατφόρμων HAPS είναι από τα πιο σημαντικά.

Με την κίνηση της πλατφόρμας μπορεί να προκύψει και πρόβλημα με τις διαπομπές στους επίγειους τερματικούς σταθμούς. Οι διαπομπές είναι ένα φαινόμενο

που παρατηρείται σε όλα τα κυψελωτά συστήματα κινητών υπηρεσιών. Παρόλο που τα επίγεια τερματικά του συστήματος HAPS θα είναι σταθερά, η κίνηση της πλατφόρμας θα δημιουργεί πιθανόν διαπομπές σε κάποια επίγεια τερματικά, που βρίσκονται στα όρια των κυψελών του συστήματος. Αυτό σε συνδυασμό με το ότι η κάθε περιοχή κάλυψης θα χωρίζεται σε πολλές κυψέλες, κάνουν τις διαπομπές ένα κρίσιμο πρόβλημα για την αποδοτική λειτουργία του συστήματος HAPS.

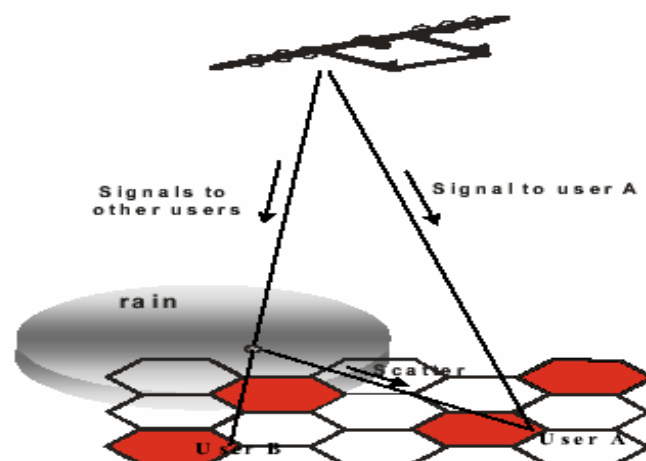
1.8.5 Άλλα Προβλήματα

Επειδή η τεχνολογία των HAPS είναι σχετικά καινούργια και δεν έχει χρησιμοποιηθεί για εμπορικούς σκοπούς, υπάρχουν πολλά ακόμα κρίσιμα προβλήματα.

Αυτά τα προβλήματα εστιάζονται στην μορφή που θα έχουν οι κυψέλες και στην ανάπτυξη κεραιών με μικρούς λοβούς ακτινοβολίας, έτσι ώστε να μειώνονται τα επίπεδα παρεμβολών τόσο σε γειτονικές κυψέλες όσο και σε άλλα συστήματα. Επίσης προβλήματα προκύπτουν από την μη καθιέρωση ενιαίων προτύπων στον τύπο της διαμόρφωσης, των πρωτοκόλλων διάδοσης, της μεθόδου πρόσβασης στο μέσο μετάδοσης, στην κωδικοποίηση, την διάδοση και την διαφορική λήψη, που θα χρησιμοποιούνται από τα στρατοσφαιρικά συστήματα.

Επίσης ακόμα δεν έχει καθοριστεί ο τύπος των κεραιών που είναι καλύτερες να χρησιμοποιηθούν, αφού οι απόψεις διίστανται μεταξύ των κεραιών με σταθερή δέσμη ακτινοβολίας ή με δέσμη ικανή να στρέφει το διάγραμμα ακτινοβολίας της με ηλεκτρονικό τρόπο.

Άλλο ένα πρόβλημα έγκειται στην μικρή ακτίνα των κυψελών κάλυψης που προβάλλει η πλατφόρμα στο έδαφος. Λόγω της μικρής ακτίνας των κυψελών, μια πιθανή εκδήλωση βροχής ίσως προκαλέσει πολλά προβλήματα παρεμβολής σε χρήστες γειτονικών ομοδιαυλικών κυψελών από την διάθλαση που θα προκαλέσει στο σήμα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.24.



Σχήμα 1.24 Παρεμβολή που μπορεί να προκαλέσει το φαινόμενο της βροχής σε ομοδιαυλικές κυψέλες

Τέλος, ένα ακόμα πρόβλημα της ανάπτυξης και χρησιμοποίησης στρατοσφαιρικών πλατφόρμων στις τηλεπικοινωνίες αποτελεί η δυσπιστία που γενικά δείχνουν οι συνδρομητές προς κάθε νέα τεχνολογία, η οποία πολλές φορές προκαλείται εσκεμμένα από τους αντιπροσώπους ανταγωνιστικών συστημάτων, που ήδη λειτουργούν.

Βιβλιογραφία 1^{ου} κεφαλαίου

- [1] ITU-R RECOMMENDATION F.1500, ***Preferred characteristics of systems in the fixed service using high altitude platforms operating in the bands 47.2-47.5 GHz and 47.9-48.2 GHz***
- [2] ITU-R RECOMMENDATION F.1501, ***Coordination distance for systems in the fixed service (FS) involving high-altitude platform stations (HAPSs) sharing the frequency bands 47.2-47.5 GHz and 47.9-48.2 GHz with other systems in the fixed service***
- [3] ITU-R RECOMMENDATION F.1409, ***Propagation data and prediction methods required for the design of systems using high altitude platform station at about 47 GHz***
- [4] DRAFT NEW RECOMMENDATION ITU-R F.[DOC. 9/75], ***Technical and operational characteristics for the fixed service using high altitude platform stations in the bands 27.5-28.35 GHz and 31.0-31.3 GHz***, Radiocommunication Study Group 9, Document 9/BL/25-E, 29 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 2002
- [5] ITU RESOLUTION 221 (WRC-2000), ***Use of high altitude platform stations providing IMT-2000 in the bands 1885-1980 MHz, 2010-2025 MHz and 2110-2170 MHz in Regions 1 and 3 and 1885-1980 MHz and 2110-2160 MHz in Region 2***
- [6] ITU RESOLUTION 122 (REV. WRC-2000), ***Use of the bands 47.2-47.5 GHz and 47.9-48.2 GHz by high altitude platform stations (HAPS) in the fixed service and by other services and the potential use of bands in the range 18-32 GHz by HAPS in the fixed service***
- [7] ITU RESOLUTION 734 (WRC-2000), ***Feasibility of use by high altitude platform stations in the fixed and mobile services in the frequency bands above 3 GHz allocated exclusively for terrestrial radiocommunication***
- [8] ***HeliNet - The European Solar-Powered HAP Project***, T. C. TOZER & D. GRACE, UVS Tech 2001, Euro UVS, ΒΡΥΞΕΛΕΣ, ΒΕΛΓΙΟ, Δεκέμβριος 2001
- [9] ***Providing Multimedia Communications Services from High Altitude Platforms***, D. GRACE, N.E. DALY, T.C. TOZER, A.G. BURR & D.A.J. PEARCE, International Journal of Satellite Communications 2001, Τεύχος 19, σελ. 559-580, Νοέμβριος 2001

- [10] **Broadband Communications from High Altitude Platforms - The HeliNet Solution**, D. GRACE, J. THORNTON, T. KONEFAL, C. SPILLARD & T.C. TOZER, Wireless Personal Mobile Conference, ΑΛΛΜΠΟΡΓΚ, ΔΑΝΙΑ, Σεπτέμβριος 2001
- [11] **High Altitude Platforms for Wireless Communications**, T.C. TOZER & D. GRACE, IEE Electronics and Communications Engineering Journal, Τεύχος 13, No. 3, σελ. 127-37, Ιούνιος 2001
- [12] **Broadband Communications from a High Altitude Platforms**, J. THORNTON, D. GRACE, C. SPILLARD, T. KONEFAL & T.C. TOZER, IEE Electronics and Communications Engineering Journal, Τεύχος 13, No. 3, σελ. 138-144, Ιούνιος 2001
- [13] **High Altitude Platforms - The future for Broadband Communications**, T.C. TOZER & D. GRACE, Communicate 2000 Online Conference, Οκτώβριος 2000
- [14] **Communications from High Altitude Platforms - A European Perspective**, D. GRACE, T. C. TOZER & N.E. DALY, 2nd Stratospheric Platforms System Workshop, Τόκιο, Ιαπωνία, Σεπτέμβριος 2000
- [15] **Communications from High Altitude Platforms - A Complementary or Disruptive Technology?**, D. GRACE, T. C. TOZER & N.E. DALY, IEE Colloquium "New Access Network Technologies", Οκτώβριος 2000
- [16] **Communications Performance of High Altitude Platforms Networks operating in the mm-Wave Bands**, D. GRACE, N.E. DALY, T.C. TOZER, D.A.J. PEARCE & A.G. BURR, Airship Convention 2000, Ιούλιος 2000
- [17] **Prediction of Frequency Reuse Behaviour for High Altitude Platforms**, N.E. DALY, D. GRACE, T.C. TOZER, D.A.J. PEARCE & A. G. BURR, Airship Convention 2000, Ιούλιος 2000
- [18] **The European HeliNet Project**, G. OLMO, T.C. TOZER & D. GRACE, Airship Convention 2000, Ιούλιος 2000
- [19] **UAVs and HAPs - Potential Convergence for Military Communications**, T.C. TOZER, D. GRACE, J. THOMPSON & P. BAYNHAM, IEE Colloquium on "Military Satellite Communications", 6 Ιουλίου 2000
- [20] **LMDS from High Altitude Aeronautical Platforms**, D. GRACE, N.E. DALY, T.C. TOZER & A.G. BURR, GLOBECOM 99, Ρίο ντε Τζανείρο, Βραζιλία, Δεκέμβριος 1999.
- [21] **HAPS – High Altitude Platform Stations**, OFCOM, OFFICE FEDERAL DE LA COMMUNICATION,
- [22] THE HELINET PROJECT, POLITECNICO DI TORINO, <http://www.helinet.polito.it>

- [23] COMMUNICATIONS RESEARCH LABORATORY, UNIVERSITY OF YORK,
<http://www.elec.york.ac.uk/comms/haps.html>
- [24] ESA, EUROPEAN SPACE AGENCY, <http://www.estec.esa.nl>
- [25] ZEPPELIN-NT, <http://www.zepelin-nt.com>
- [26] YOKOSUKA COMMUNICATION RESEARCH LABORATORY,
<http://www2.crl.go.jp/t/team2/index.html>
- [27] ADVANCED TECHNOLOGIES GROUP, <http://www.airship.com>
- [28] SKYSTATION, <http://www.skystation.com>
- [29] LINDSTRAND BALLOONS LTD., <http://www.lindstrand.co.uk>
- [30] AEROVIRONMENT, <http://www.aerovirement.com>
- [31] **SKYTOWER TELECOMMUNICATIONS HOMEPAGE, www.skytowerglobal.com**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΘΟΡΥΒΟΣ

2.1 Εισαγωγή

Θόρυβος είναι κάθε ηλεκτρομαγνητικό κύμα με μηδενικό πληροφοριακό περιεχόμενο το οποίο προστίθεται στα χρήσιμα σήματα πληροφορίας, καθιστώντας δυσχερή την μετάδοση, την επεξεργασία, τη σωστή ανάκτηση και την ικανοποιητική αναπαραγωγή της μεταδιδόμενης πληροφορίας στο δέκτη του τηλεπικοινωνιακού συστήματος. Ο θόρυβος αποτελείται από ασυσχέτιστα σήματα, πάνω στα οποία δεν υπάρχει πλήρης έλεγχος, με διαφορετική προέλευση το καθένα. Τα σήματα αυτά συντίθενται κατά τυχαίο τρόπο και για αυτό το λόγο ο θόρυβος περιγράφεται μαθηματικά ως τυχαία διαδικασία.

Τα φέροντα κύματα που εκπέμπονται από πομπούς διαφορετικούς από εκείνους του ζητούμενου τηλεπικοινωνιακού συστήματος στην ίδια ζώνη συχνοτήτων και τα οποία δυσχεραίνουν την ποιότητα της επικοινωνίας και μειώνουν την ικανότητα του ζητούμενου τηλεπικοινωνιακού δέκτη να λειτουργήσει σωστά, γίνονται αντιληπτά από το δέκτη σαν σήματα θορύβου. Παρόλα αυτά, το συγκεκριμένο είδος θορύβου ονομάζεται παρεμβολή και μελετάται διεξοδικά σε επόμενο κεφάλαιο

2.2 Είδη θορύβου

Στην πράξη, οι πηγές θορύβου σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα είναι πολυάριθμες και ταξινομούνται ανάλογα με την προέλευση τους σε δύο κατηγορίες, στον τεχνητό και στο φυσικό θόρυβο.

2.2.1 Τεχνητός Θόρυβος

Ο τεχνητός θόρυβος δημιουργείται από διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες και προέρχεται κυρίως από συσκευές ή μηχανήματα, όπως διακόπτες, συστήματα ανάφλεξης κινητήρων, ηλεκτρικές συσκευές κ.α. Η μορφή αυτού του τύπου θορύβου είναι συνήθως κρουστικής μορφής και εξασθενεί πολύ σύντομα σχετικά με τον χρόνο. Τα δυσμενή του αποτελέσματα μπορούν να περιοριστούν με χρήση κατάλληλων ειδικών συσκευών καταστολής θορύβου.

2.2.2 Φυσικός Θόρυβος

Ο φυσικός θόρυβος προέρχεται από εξωτερικές πηγές ακτινοβολίας και από εσωτερικές πηγές του συστήματος λήψης. Αυτού του τύπου ο θόρυβος χωρίζεται στον ουράνιο θόρυβο και των κυκλωματικό θόρυβο.

Ο ουράνιος θόρυβος εκπέμπεται από φυσικές πηγές ακτινοβολίας που βρίσκονται εντός της περιοχής λήψης της κεραίας και οφείλεται στην ηλιακή δραστηριότητα, στην κοσμική ακτινοβολία και την ατμόσφαιρα. Ο ουράνιος θόρυβος μπορεί να μειωθεί με κατάλληλο προσανατολισμό της κεραίας λήψης, έτσι ώστε να αποφευχθούν διάφορες πηγές κοσμικής ακτινοβολίας, όπως ο Ήλιος ή άλλοι ακτινοβολούντες αστέρες. Πάντως η τιμή του ουράνιου θορύβου είναι πολύ μικρή σε σχέση με αυτήν του κυκλωματικού θορύβου.

Ο κυκλωματικός θόρυβος εμφανίζεται λόγω των τυχαιών διακυμάνσεων του ρεύματος ή της τάσης στα ηλεκτρικά κυκλώματα. Αυτός ο τύπος θορύβου είναι πάντοτε παρών σε κάθε τηλεπικοινωνιακό σύστημα και αποτελεί τον βασικό περιοριστικό παράγοντα στην μετάδοση και στην φώραση των σημάτων. Τα φαινόμενα που σχετίζονται με τον κυκλωματικό θόρυβο είναι δύο, ο θόρυβος βολής και ο θερμικός θόρυβος.

Ο θόρυβος βολής εμφανίζεται σε κυκλωματικές διατάξεις εξαιτίας της διακριτής φύσης της ροής του ηλεκτρικού ρεύματος σε αυτές. Το σημαντικό χαρακτηριστικό του θορύβου βολής είναι ότι έχει κατανομή Gauss με μηδενική μέση τιμή.

Ο θερμικός θόρυβος οφείλεται στην τυχαία κίνηση ηλεκτρονίων σε ένα παθητικό στοιχείο ή κύκλωμα. Και αυτό το είδος θορύβου ακολουθεί κατανομή Gauss με μηδενική μέση τιμή.

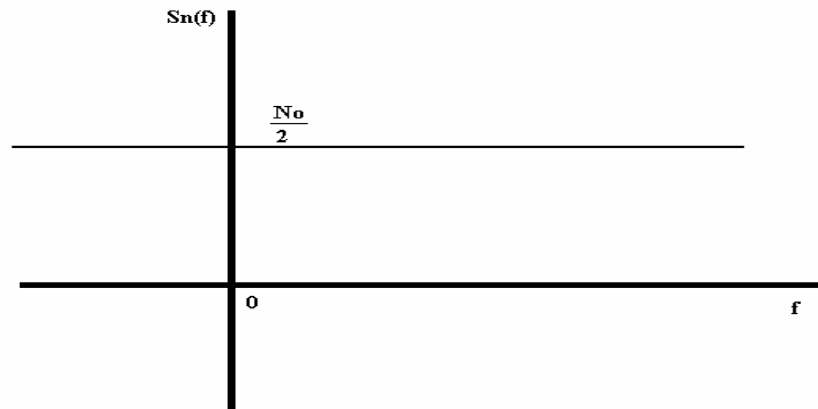
2.3 Ανάλυση θορύβου

2.3.1 Λευκός Θόρυβος

Οι ποσοτικοί υπολογισμοί του θορύβου στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα βασίζονται κυρίως σε μια μορφή του θορύβου, που θεωρείται ιδανική και ονομάζεται λευκός θόρυβος (white noise). Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, η ισχύς του θορύβου θεωρείται ομοιόμορφα κατανομημένη σε ένα πολύ μεγάλο εύρος συχνοτήτων. Επομένως, η φασματική πυκνότητα ισχύος του λευκού θορύβου θεωρείται σταθερή και ανεξάρτητη της συχνότητας και συμβολίζεται με:

$$S_n(f) = \frac{N_0}{2} \quad (\text{Watt/Hz}) \quad (2.1)$$

,όπου ο παράγοντας $\frac{1}{2}$ έχει συμπεριληφθεί για να δείξει ότι το μισό της ισχύος συνδέεται με τις θετικές συχνότητες και το άλλο μισό με τις αρνητικές. Η σχέση 2.1 εκφράζεται σε Watt/Hz. Η φασματική πυκνότητα $S_n(f)$ φαίνεται στο διάγραμμα 2.1.



Διάγραμμα 2.1 - Φασματική πυκνότητα ισχύος του λευκού θορύβου

Η επιλογή του όρου «λευκός» έχει να κάνει με την ιδιότητα που έχει το λευκό φως, το οποίο περιέχει ίσες ποσότητες ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, μέσα στην ορατή ζώνη, από όλες τις συχνότητες. Ο λευκός θόρυβος ακολουθεί κατανομή Gauss με μηδενική μέση τιμή. Παράδειγμα τέτοιου θορύβου είναι ο θερμικός θόρυβος και ο θόρυβος που προέρχεται από την ηλιακή και την κοσμική ακτινοβολία. Ο λευκός θόρυβος μπορεί να προστίθεται στο επιθυμητό σήμα και αναφέρεται συχνά και ως προσθετικός λευκός θόρυβος τύπου Gauss (AWGN - Additive White Gaussian Noise).

Από την σχέση που δίνει την φασματική πυκνότητα ισχύος του λευκού θορύβου $S_n(f)$, μπορεί να ειπωθεί αυστηρά ότι ο λευκός θόρυβος έχει άπειρη μέση ισχύ και σαν τέτοιος δεν είναι φυσικά πραγματοποιήσιμος. Όμως ο ορισμός του λευκού θορύβου αποτελεί ένα σημαντικό μαθηματικό εργαλείο, που έχει βολικές μαθηματικές ιδιότητες, κάτι το οποίο είναι πολύ χρήσιμο στην τηλεπικοινωνιακή ανάλυση.

2.3.2 Ισοδύναμη Θερμοκρασία και Ισοδύναμο Εύρος Θορύβου

Στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα, η φασματική πυκνότητα ισχύος του λευκού θορύβου που μεταβιβάζεται από μία πηγή θορύβου σε προσαρμοσμένο φορτίο δίνεται από τη σχέση

$$N_0 = kT_{\text{ισ}} \quad (\text{Watt/Hz}) \quad (2.2)$$

όπου:

$$k \text{ η σταθερά Boltzmann ίση με } 1,3806 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Watt}}{^\circ\text{K} \cdot \text{Hz}}$$

T_{IS} η ισοδύναμη θερμοκρασία θορύβου της πηγής θορύβου σε $^{\circ}\text{K}$.

Η ισοδύναμη θερμοκρασία θορύβου ενός θορυβώδους στοιχείου ή κυκλώματος ορίζεται ως η φυσική θερμοκρασία, στην οποία πρέπει να διατηρηθεί μια αντίσταση θορύβου, έτσι ώστε, όταν συνδεθεί στην είσοδο μίας χωρίς θόρυβο μορφής του στοιχείου ή του συστήματος να προκαλεί την εμφάνιση της ίδιας διαθέσιμης ισχύος θορύβου στην έξοδο του συστήματος, με αυτήν που παράγεται από όλες τις πηγές του θορύβου στο πραγματικό θορυβώδες σύστημα.

Η συνολική ισχύς θορύβου που εισέρχεται στο δέκτη ενός συστήματος εξαρτάται από το ισοδύναμο εύρος ζώνης θορύβου B_N . Για βαθυπερατό σύστημα, η σχέση που δίνει το ισοδύναμο εύρος ζώνης θορύβου δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$B_N = \frac{\int_0^{\infty} (|H(f)|)^2 df}{(|H(0)|)^2} \quad (\text{Hz}) \quad (2.3)$$

όπου $H(f)$ η συνάρτηση μεταφοράς του βαθυπερατού φίλτρου.

Στην περίπτωση ζωνοπερατού συστήματος, με κεντρική συχνότητα f_c , το ισοδύναμο εύρος ζώνης θορύβου δίνεται από τη σχέση:

$$B_N = \frac{\int_0^{\infty} (|H(f)|)^2 df}{(|H(f_c)|)^2} \quad (\text{Hz}) \quad (2.4)$$

Έτσι, αν υποθέσουμε ότι έχουμε φασματική ισχύ θορύβου ίση με N_0 (W/Hz), τότε η συνολική ισχύς θορύβου που υπεισέρχεται σε δέκτη ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος με εύρος ζώνης B και ισοδύναμο εύρος ζώνης θορύβου B_N (Hz), δίνεται από την ακόλουθη σχέση,

$$N = N_0 \cdot B_N = k \cdot T_{\text{IS}} \cdot B_N \quad (\text{Watt}) \quad (2.5)$$

Συνήθως το ισοδύναμο εύρος ζώνης θορύβου B_N προσαρμόζεται στο εύρος ζώνης B του δέκτη.

2.3.3 Συντελεστής θορύβου (Noise Figure - NF)

Ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος εξόδου του θορυβώδους συστήματος προς την ισχύ θορύβου στην έξοδο του ίδιου συστήματος, χωρίς την παρουσία εσωτερικών πηγών θορύβου και με την υπόθεση ότι έχουμε συνδεδεμένη μία πηγή θορύβου στην είσοδο του δέκτη ίση με $T_0 = 290^{\circ}\text{K}$.

Για τον υπολογισμό του συντελεστή θορύβου, θεωρείται σύστημα συνολικού κέρδους G , εύρους ζώνης συχνοτήτων B και μία πηγή θορύβου ισοδύναμης θερμοκρασίας T_s στην είσοδο του. Η ισχύς θορύβου στην έξοδο του συστήματος θα είναι ίση με το άθροισμα της ισχύος που προέρχεται από την εξωτερική πηγή θορύβου και της ισχύος N_n που παράγεται από τις εσωτερικές πηγές θορύβου του συστήματος. Επομένως, ο συντελεστής θορύβου του συστήματος, δεδομένου ότι $T_s = T_0 = 290^0 K$, υπολογίζεται από τη σχέση

$$NF = \frac{kT_0BG + N_n}{kT_0BG} \quad (2.6)$$

Χρησιμοποιώντας τον ορισμό της ισοδύναμης θερμοκρασίας θορύβου, η ισχύς N_n που παράγεται εσωτερικά στο σύστημα, μπορεί να θεωρηθεί ότι προκύπτει από μία υποθετική πηγή θορύβου ισοδύναμης θερμοκρασίας $T_{1Σ}$ στην είσοδο του συστήματος. Δηλαδή, $N_n = k \cdot T_{1Σ} \cdot B \cdot G$, οπότε από τη σχέση (2.6) ο συντελεστής θορύβου του συστήματος υπολογίζεται από τη σχέση:

$$NF = 1 + \frac{T_{1Σ}}{T_0} \quad (2.7)$$

Ο συντελεστής θορύβου τέλος σχετίζεται με το σηματοθορυβικό λόγο εισόδου CNR_{in} και εξόδου CNR_{out} του δικτύου. Συγκεκριμένα ισχύει:

$$NF = \frac{CNR_{in}}{CNR_{out}} \Big|_{T_0 = 290^0 K} \quad (2.8)$$

2.4 Αλυσίδα θορύβου

2.4.1 Θερμοκρασία Θορύβου σε Ενεργό Στοιχείο

Σε κάθε τηλεπικοινωνιακό σύστημα, κάθε ενεργό στοιχείο, όπως ενισχυτής, γραμμή μεταφοράς κ.α., εισάγει στον δέκτη θερμικό θόρυβο που προστίθεται στον εξωτερικό θερμικό θόρυβο που συλλέγει ο δέκτης μέσω της κεραίας του. Τις περισσότερες φορές μάλιστα, ο θόρυβος που παράγει το τηλεπικοινωνιακό σύστημα είναι αρκετές φορές μεγαλύτερος από τον εξωτερικό θόρυβο που συλλέγεται από την κεραία.

Κάθε ενεργό στοιχείο του τηλεπικοινωνιακού δέκτη μπορεί να παρασταθεί με ένα δίθυρο, όπου θεωρούμε ότι η ισοδύναμη θερμοκρασία θορύβου του στοιχείου αυτού είναι ίση με $T_{1Σ}$. Έστω, επίσης, ότι η ισοδύναμη θερμοκρασία θορύβου στο

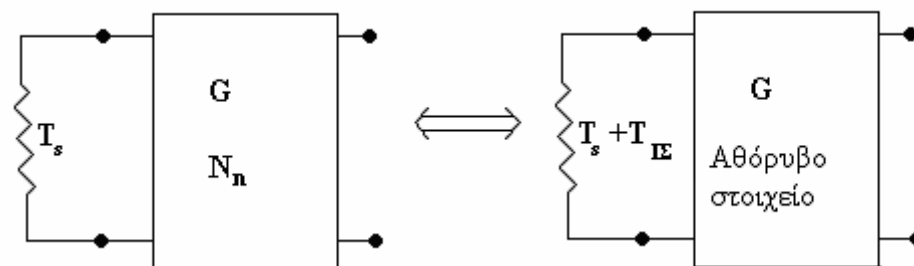
κύκλωμα που προηγείται του υπό εξέταση στοιχείου είναι T_s . Επίσης, το κέρδος του στοιχείου είναι G , ενώ το εύρος ζώνης συχνοτήτων του είναι B . Η ισχύς θορύβου στην έξοδο του στοιχείου αυτού δίνεται από τον τύπο που ακολουθεί,

$$N_o = kT_s BG + N_n \quad (2.9)$$

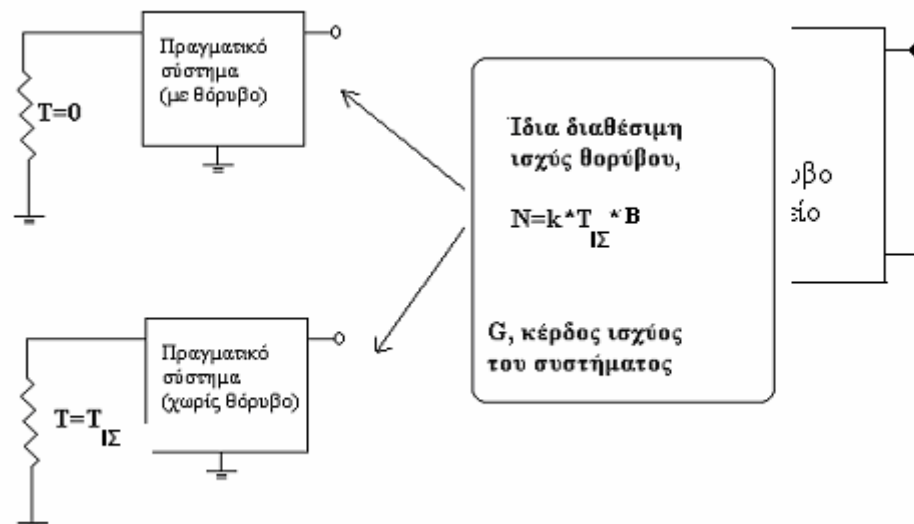
,όπου N_n είναι η ισχύς θορύβου που παράγεται στο στοιχείο από τα εσωτερικά του κυκλώματα. Από την σχέση (2.9) βρίσκουμε ότι,

$$N_o = kBG(T_s + T_{\Sigma}) \quad (2.10)$$

με $T_{\Sigma} = N_n / (kB G)$.



Σχήμα 2.1 Θορυβώδες και ισοδύναμο αθόρυβο στοιχείο



Σχήμα 2.2 Ενεργός θερμοκρασία εισόδου ενός δίθυρου στοιχείου

Συμπεραίνουμε, επομένως πως κάθε θορυβώδες στοιχείο μπορεί να παρασταθεί με μια πηγή θορύβου θερμοκρασίας T_e και το ισοδύναμο αθόρυβο

στοιχείο του. Από την σχέση (4.6), ο συντελεστής θορύβου του στοιχείου αυτού θα είναι $F=1+(T_e/T_o)$.

2.4.2 Θερμοκρασία Θορύβου Αλυσίδας

Θεωρούμε ότι έχουμε N δίθυρα (στοιχεία) ενός κυκλώματος, του τηλεπικοινωνιακού δέκτη, σε σειρά. Αν για το κάθε στοιχείο δίνεται το κέρδος του G_i και η ισοδύναμη θερμοκρασία θορύβου στην είσοδο του $T_{I\Sigma,i}$, τότε η συνολική θερμοκρασία θορύβου στην έξοδο του τηλεπικοινωνιακού δέκτη θα είναι,

$$T_{I\Sigma} = T_{I\Sigma,1} + \frac{T_{I\Sigma,2}}{G_1} + \frac{T_{I\Sigma,3}}{G_1 \cdot G_2} + \dots + \frac{T_{I\Sigma,N}}{G_1 \cdot G_2 \cdot \dots \cdot G_{N-1}} \quad ({}^\circ K) \quad (2.11)$$

και ο συντελεστής θορύβου στην έξοδο της αλυσίδας θα δίνεται από την εξής σχέση,

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 \cdot G_2} + \dots + \frac{F_N - 1}{G_1 \cdot G_2 \cdot \dots \cdot G_{N-1}} \quad (dB) \quad (2.12)$$

Προκύπτει ότι η ισοδύναμη θερμοκρασία θορύβου και ο συντελεστής θορύβου της αλυσίδας καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από τις αρχικές βαθμίδες του δικτύου και κυρίως από την πρώτη.

2.4.3 Θερμοκρασία Θορύβου Εξασθενητή

Εξασθενητής είναι ένα δίθυρο στοιχείο που περιέχει μόνο παθητικά στοιχεία, τα οποία μπορούν να θεωρηθούν σαν αντιστάσεις, όλα σε θερμοκρασία T_E συνήθως ίση με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Αν L_E η εξασθένιση που εισάγει ο εν λόγω εξασθενητής, η ισοδύναμη θερμοκρασία θορύβου στην είσοδό του είναι ίση με:

$$T_{I\Sigma,E} = (L_E - 1)T_E \quad ({}^\circ K) \quad (2.13)$$

Είναι φανερό από την παραπάνω σχέση ότι καθώς αυξάνεται η απόσβεση που εισάγει ένα παθητικό δίκτυο ή η θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται, αυξάνεται και η ισοδύναμη θερμοκρασία θορύβου του.

Στην περίπτωση που ο εξασθενητής βρίσκεται σε θερμοκρασία $290^\circ K$, ο συντελεστής θορύβου ταυίζεται με την απόσβεση που εισάγει, δηλαδή

$$F_E = L_E \quad (dB)$$

2.4.4 Θερμοκρασία Θορύβου της Κεραίας Δέκτη

Η κεραία είναι το στοιχείο εκείνο του δέκτη ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος το οποίο συλλέγει την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από το περιβάλλοντα χώρο της. Οι κεραίες χαρακτηρίζονται από το διάγραμμα ακτινοβολίας τους. Η έξοδος του θορύβου από την κεραία εξαρτάται από πολλά πράγματα, κυρίως όμως από τον προσανατολισμό της, το διάγραμμα ακτινοβολίας της, αλλά και από την κατάσταση του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται.

Η κεραία του δέκτη θεωρείται παθητικό στοιχείο, το οποίο εκτός από το χρήσιμο σήμα πληροφορίας συλλέγει θόρυβο από ακτινοβολούντα σώματα, όταν ο θόρυβος αυτός είναι εντός του εύρους ζώνης συχνοτήτων του συστήματος και επίσης βρίσκεται μέσα στο διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας. Κατά συνέπεια, η κεραία μπορεί να θεωρηθεί σαν μία πηγή θορύβου, με θερμοκρασία θορύβου T_A .

Θεωρώντας ότι μια πηγή ακτινοβολίας, που θεωρείται θόρυβος, εκπέμπει προς την κεραία του δέκτη, σε μια διεύθυνση (θ, φ) και έχει ισοδύναμη θερμοκρασία $T_b(\theta, \varphi)$, τότε η θερμοκρασία θορύβου της κεραίας T_A βρίσκεται από την ολοκλήρωση των συνεισφορών όλων των πηγών ακτινοβολίας, που βρίσκονται μέσα στο διάγραμμα ακτινοβολίας της. Αν $G(\theta, \varphi)$ να είναι το κέρδος της κεραίας προς την διεύθυνση (θ, φ) , έχουμε,

$$T_A = \left(\frac{1}{4\pi} \right) \iint T_b(\theta, \varphi) \cdot G(\theta, \varphi) \cdot \sin \theta \cdot d\theta \cdot d\varphi \quad (^\circ K) \quad (2.14)$$

2.5 Συνολική Θερμοκρασία Θορύβου Συστήματος Λήψης

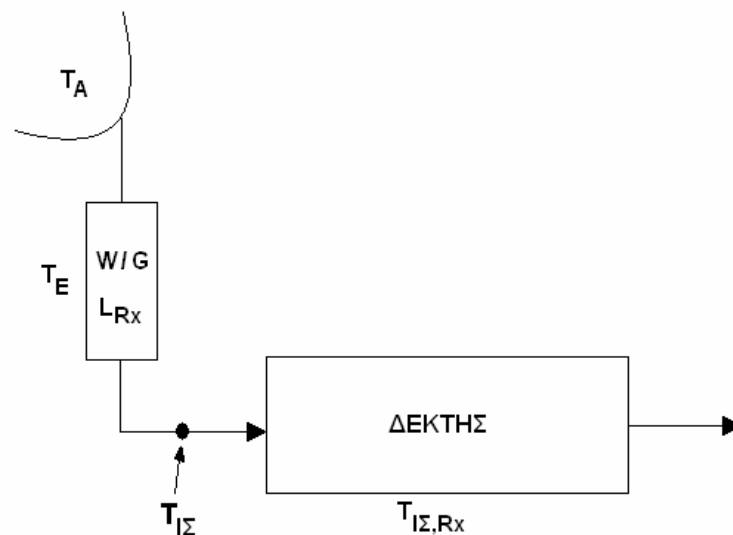
Η συμβολή του θορύβου σε έναν τηλεπικοινωνιακό δέκτη καθορίζεται από την θερμοκρασία θορύβου στην είσοδό του. Η θερμοκρασία αυτήν, στο σημείο που εξετάζουμε, υπολογίζεται αθροίζοντας όλες τις θερμοκρασίες θορύβου, που αντιστοιχούν στον θόρυβο που παράγεται από την κεραία μέχρι την είσοδο του δέκτη και όλες τις θερμοκρασίες θορύβου, που παράγονται από το σημείο που εξετάζουμε και έπειτα.

Μετά την ανάλυση υπολογισμού της ισοδύναμης θερμοκρασίας θορύβου κεραίας, εξασθενητή και αλυσίδας στοιχείων σε ένα σύστημα λήψης, είναι δυνατός ο υπολογισμός της συνολικής ισοδύναμης θερμοκρασίας θορύβου ενός τέτοιου συστήματος.

Εκτός από την κεραία το σύστημα του δέκτη αποτελείται από την γραμμή μεταφοράς, η οποία εξασθενεί το σήμα που λαμβάνει η κεραία, άρα έχει ρόλο εξασθενητή, έστω με ισοδύναμη θερμοκρασία θορύβου T_E και εξασθένιση ίση με L_{Rx} .

Η γραμμή μεταφοράς οδηγεί το σήμα που λαμβάνει η κεραία στο κυρίως κύκλωμα του δέκτη, όπου εκεί περιέχονται οι βαθμίδες του ενισχυτή, του φωρατή κτλ. Το κυρίως κύκλωμα του δέκτη έχει μια ισοδύναμη θερμοκρασία θορύβου στην είσοδό του ίση με $T_{I\Sigma,Rx}$.

Η μορφή του συστήματος λήψης απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 2.3 Σύστημα λήψης για τον υπολογισμό της ισοδύναμης θερμοκρασίας του συστήματος $T_{I\Sigma}$

Σαν ισοδύναμη θερμοκρασία θορύβου ορίζεται η ισοδύναμη θερμοκρασία του συστήματος που υπολογίζεται αμέσως μετά τη γραμμή μεταφοράς και πριν από την είσοδο στην αλυσίδα του δέκτη. Η ισοδύναμη θερμοκρασία θορύβου του συστήματος, με βάση την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στις προηγούμενες παραγράφους, δίνεται από τη σχέση:

$$T_{I\Sigma} = \frac{T_A}{L_{Rx}} + T_E \left(1 - \frac{1}{L_{Rx}} \right) + T_{I\Sigma,Rx} \quad (^\circ K) \quad (2.15)$$

Βιβλιογραφία 2^{ου} κεφαλαίου

- [1] ***Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες***, Φ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ, Χ ΚΑΨΑΛΗΣ & Π. ΚΩΤΤΗΣ, Εκδόσεις ΠΑΠΑΣΩΤΗΡΙΟΥ, ΑΘΗΝΑ
- [2] ***Δορυφορικές Τηλεπικοινωνίες***, Χ ΚΑΨΑΛΗΣ & Π. ΚΩΤΤΗΣ, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2003
- [3] ***Διάδοση Ηλεκτρομαγνητικών Κυμάτων σε Γήινο Περιβάλλον***, Ι.Δ. ΚΑΝΕΛΟΠΟΥΛΟΣ, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2003
- [4] ***Συστήματα Επικοινωνίας***, SIMON HAYKIN, Εκδόσεις ΠΑΠΑΣΩΤΗΡΙΟΥ, ΑΘΗΝΑ, 1995
- [5] ***Δορυφορικές Επικοινωνίες: Συστήματα, Τεχνικές και Τεχνολογία***, G. MARAL – M. BOUSQUET, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2000

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ - ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

3.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο, εξετάζεται διεξοδικά η διαμόρφωση των τηλεπικοινωνιακών σημάτων, ιδιαίτερα στην περίπτωση των ψηφιακών συστημάτων. Παρουσιάζονται και συγκρίνονται τα σημαντικότερα σχήματα ψηφιακής διαμόρφωσης. Επίσης, παρουσιάζονται οι παράμετροι που προσδιορίζουν την αξιοπιστία σε μία τηλεπικοινωνιακή ζεύξη, δηλαδή την πιθανότητα λανθασμένης μετάδοσης του σήματος. Τέλος, γίνεται εφαρμογή της θεωρίας κωδικοποίησης και BER στα σενάρια που θα αναλύσουμε σε επόμενα κεφάλαια.

3.2 Διαμόρφωση

Σε κάθε τηλεπικοινωνιακό σύστημα σκοπός είναι η μετάδοση σημάτων πληροφορίας (information-bearing signals) ή σημάτων βασικής ζώνης (baseband signals) μέσω ενός διαύλου επικοινωνίας που χωρίζει τον πομπό από το δέκτη. Ο όρος βασική ζώνη (baseband) χρησιμοποιείται για να ορίσουμε τη ζώνη των συχνοτήτων, που καταλαμβάνει το αρχικό σήμα, όπως αυτό στέλνεται από την πηγή πληροφορίας. Η αποτελεσματική χρήση του διαύλου επικοινωνίας απαιτεί μετατόπιση της περιοχής συχνοτήτων της βασικής ζώνης σε άλλες περιοχές συχνοτήτων, κατάλληλες προς μετάδοση καθώς και μια αντίστοιχη μετατόπιση προς την αρχική περιοχή συχνοτήτων μετά τη λήψη.

Η μετατόπιση της περιοχής των συχνοτήτων ενός σήματος επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας διαμόρφωση (modulation), που ορίζεται ως η διαδικασία με την οποία κάποιο χαρακτηριστικό ενός υψίσυχνου σήματος, που ονομάζεται φέρον σήμα, μεταβάλλεται σύμφωνα με κάποιο άλλο σήμα - σήμα διαμόρφωσης. Το σήμα βασικής ζώνης αναφέρεται σαν σήμα διαμόρφωσης (modulating wave). Το αποτέλεσμα της διαδικασίας διαμόρφωσης αναφέρεται σαν διαμορφωμένο σήμα (modulated wave).

3.2.1 Αναλογική Διαμόρφωση

Στα συστήματα αναλογικών επικοινωνιών η διαμόρφωση επιτυγχάνεται, μεταβάλλοντας το πλάτος (AM διαμόρφωση), τη φάση (PM διαμόρφωση) ή τη συχνότητα (FM διαμόρφωση) του υψίσυχνου φέροντος σύμφωνα με το σήμα πληροφορίας, όπως φαίνεται στην ακόλουθη σχέση:

$$x(t) = A(t) \cdot \cos[\omega_c(t) + \theta(t)] \quad (3.1)$$

όπου:

- $x(t)$ – το διαμορφωμένο σήμα
- $A(t)$ – το πλάτος του διαμορφωμένου σήματος
- $\omega_c(t)$ – συχνότητα φέροντος σήματος
- $\theta(t)$ – φάση του διαμορφωμένου σήματος

3.2.2 Ψηφιακή Διαμόρφωση

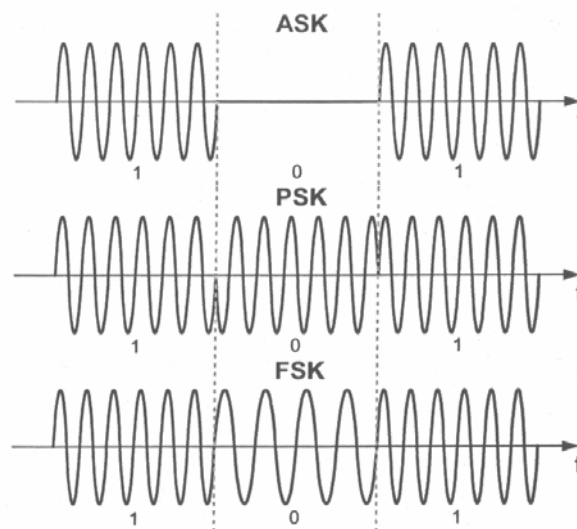
Η ψηφιακή διαμόρφωση προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με την αναλογική διαμόρφωση όπως:

- Υψηλή αξιοπιστία, ευστάθεια και προσαρμογή στη διαρκή εξέλιξη της τεχνολογίας των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων.
- Αποθήκευση και επαναχρησιμοποίηση των ψηφιακών σημάτων με αξιοπιστία και ταχύτητα ώστε να αίρονται οι δυσαρμονίες μεταξύ διαφορετικών συστημάτων
- Ελάττωση της δυσμενούς επίδρασης του θορύβου με χρήση των επαναληπτών ώστε να είναι δυνατή η λειτουργία συστημάτων υπό χαμηλές σηματοθορυβικές σχέσεις
- Ευελιξία στην ικανοποίηση των προδιαγραφών μιας ζεύξης λόγω καλύτερης αξιοποίησης των τηλεπικοινωνιακών πόρων που διαθέτει ένα σύστημα.
- Ευκολία πολύπλεξης και σηματοδοσίας.
- Κωδικοποίηση για διόρθωση λαθών και κρυπτογράφηση για την ασφάλεια των επικοινωνιών.
- Αρθρωτή υλοποίηση με κύριες συνέπειες την ελάττωση του κόστους κατασκευής και τη δυνατότητα αναβάθμισης και ενσωμάτωσης νέων υπηρεσιών

Στα συστήματα ψηφιακών επικοινωνιών, τα αντίστοιχα των αναλογικών AM, PM και FM ειδών διαμόρφωσης που χρησιμοποιούνται είναι τα ASK (Amplitude Shift Keying), PSK (Phase Shift Keying), FSK (Frequency Shift Keying). Κάθε ένα από αυτά τα τρία είδη διαμόρφωσης μπορεί να υλοποιηθεί σε δύο (binary) ή περισσότερα επίπεδα (M-ary). Παραδείγματα των μεθόδων διαμόρφωσης φαίνονται στο Σχήμα 3.1.

Πριν την επιλογή μιας συγκεκριμένης τεχνικής διαμόρφωσης είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη οι εξής παράμετροι:

- Απαιτήσεις φασματικής απόδοσης (εύρος ζώνης για δεδομένο ρυθμό μετάδοσης)
- Απαιτήσεις απόδοσης (bit-error probability – BEP)
- Πολυπλοκότητα του συστήματος



Σχήμα 3.1 – Παραδείγματα ASK, PSK και FSK

3.3 Μορφοποίηση σήματος

Πριν το στάδιο της ψηφιακής διαμόρφωσης του σήματος βασικής ζώνης, πραγματοποιείται μορφοποίηση του ψηφιακού σήματος βασικής ζώνης. Σημειώνεται ότι εάν το σήμα βασικής ζώνης προέρχεται από αναλογική πηγή, τότε μετατρέπεται αρχικά σε ψηφιακό σήμα με τη βοήθεια ενός μετατροπέα A/D και στη συνέχεια μορφοποιείται και διαμορφώνεται.

Η ακολουθία δυαδικών ψηφίων, που φαίνεται παρακάτω:

$$\{a_k\} = \{\dots, a_{-2}, a_{-1}, a_0, a_1, a_2, \dots\}, \quad a_k = \pm 1 \quad (3.2)$$

με τη βοήθεια του μορφοποιητικού παλμού $p(t)$, χρονικής διάρκειας ψηφίου T , δημιουργεί το προς διαμόρφωση σήμα βασικής ζώνης:

$$m(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} a_k \cdot p(t - kT) \quad (3.3)$$

Το φάσμα του σήματος πληροφορίας, δεδομένου ότι τα ψηφία πληροφορίας $\{a_k\}$ είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους και λαμβάνουν τις δύο τιμές (± 1) με ίσες πιθανότητες υπολογίζεται ίσο προς:

$$S_m(f) = |M(f)| = \frac{1}{T} |P(f)|^2 \quad (3.4)$$

όπου $P(f)$ ο μετασχηματισμός Fourier του μορφοποιητικού παλμού $p(t)$, που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία του $m(t)$. Είναι προφανής η σχέση μεταξύ του φάσματος του σήματος πληροφορίας και του φάσματος του μορφοποιητικού παλμού. Για αυτό το λόγο η επιλογή των μορφοποιητικών παλμών είναι μια σημαντική απόφαση κατά το σχεδιασμό ενός ψηφιακού τηλεπικοινωνιακού συστήματος.

Η διάρκεια ψηφίου T , σχετίζεται άμεσα με τον ρυθμό μετάδοσης R της πληροφορίας, με βάση την παρακάτω σχέση:

$$R = \frac{1}{T} \quad (3.5)$$

3.4 Αξιοπιστία ψηφιακού συστήματος

Κατά τη μετάδοσή του από τον πομπό στο δέκτη ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος, το σήμα πληροφορίας υφίσταται τη δυσμενή επίδραση του θορύβου που εισάγεται από το ραδιοδίαυλο. Στην περίπτωση των ψηφιακών συστημάτων, η επίδραση του θορύβου συνίσταται στην αλλοίωση της ακολουθίας δυαδικών ψηφίων που λαμβάνει ο δέκτης. Προφανώς, όσο περισσότερο εμφανίζονται τέτοια λάθη, τόσο περισσότερο διαφέρει η έξοδος του δέκτη από το αρχικό σήμα πληροφορίας που εστάλη από τον πομπό. Η πιστότητα της μετάδοσης και κατά συνέπεια η αξιοπιστία του ψηφιακού τηλεπικοινωνιακού συστήματος, προσδιορίζεται από το ρυθμό λαθών (BER) και την πιθανότητα λαθών (BEP) και γενικά εξαρτάται από:

- Την ισχύ εκπομπής του σήματος
- Το σχήμα διαμόρφωσης
- Το σχήμα κωδικοποίησης
- Την πυκνότητα ισχύος θορύβου του διαύλου
- Την απόσταση πομπού και δέκτη
- Τη συνολική παραμόρφωση που εισάγεται κατά την επεξεργασία του σήματος από τον πομπό και το δέκτη

Προκειμένου μία τηλεπικοινωνιακή ζεύξη να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο αξιόπιστη, απαιτείται να οριστεί μία ανεκτή πιθανότητα λαθών. Από την τιμή αυτή, ανάλογα με το είδος της διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται, είναι δυνατό να προσδιοριστεί μία σημαντική σχεδιαστική παράμετρος, ο λόγος της ισχύος του σήματος πληροφορίας προς την ισχύ του θορύβου στην είσοδο του δέκτη του συστήματος, που αναφέρεται ως σηματοθορυβικός λόγος C/N . Όσο μεγαλύτερη τιμή έχει η παράμετρος αυτή, τόσο πιο αξιόπιστο είναι το σύστημα.

Για τα ψηφιακά συστήματα επικοινωνιών, αντί του λόγου C/N , συνηθέστερα χρησιμοποιείται μία κανονικοποιημένη μορφή αυτού ως προς το εύρος ζώνης B και το ρυθμό μετάδοσης R . Το μέγεθος αυτό ονομάζεται λόγος ενέργειας συμβόλου

προς πυκνότητα ισχύος του θορύβου, συμβολίζεται με E_b/N_0 και δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C}{N} \cdot \frac{B}{R} \quad (3.6)$$

3.4.1 Πιθανότητα Σφάλματος Δυαδικών Ψηφίων (Bit Error Probability – BEP)

Τα σφάλματα αναγνώρισης φάσης (ή ολίσθησης φάσης) κάτω από συνθήκες θορύβου οδηγούν σε σφάλματα αναγνώρισης των λαμβανόμενων συμβόλων, άρα και των λαμβανόμενων bit. Η πιθανότητα σφάλματος συμβόλου είναι η πιθανότητα να αποδιαμορφωθεί εσφαλμένα ένα σύμβολο (Symbol Error Probability – SEP), ενώ η πιθανότητα σφάλματος δυαδικού ψηφίου είναι η πιθανότητα να αποδιαμορφωθεί εσφαλμένα ένα δυαδικό ψηφίο (Bit Error Probability – BEP).

Όταν το σχήμα διαμόρφωσης χρησιμοποιεί δύο επίπεδα, δηλαδή αντιστοιχίζει ένα bit σε κάθε σύμβολο, ισχύει:

$$SEP = BEP \quad (3.7)$$

ενώ, γενικά, σε περίπτωση χρησιμοποίησης περισσότερων επιπέδων (M-ary), ισχύει:

$$SEP = BEP / \log_2 M, \quad \text{για } M \geq 2 \quad (3.8)$$

3.4.2 Ρυθμός Μετάδοσης Λαθών (Bit Error Rate – BER)

Ο ρυθμός μετάδοσης εσφαλμένων δυαδικών ψηφίων είναι μία εκτίμηση της απόδοσης του αποδιαμορφωτή και προκύπτει με μέτρηση του αριθμού των εσφαλμένων bit, n , σε μία αλληλουχία N ληφθέντων bit. Δηλαδή:

$$BER = n / N \quad (3.9)$$

Ο BER αποτελεί μία εκτίμηση της πιθανότητας σφάλματος BEP.

3.5 Είδη ψηφιακής διαμόρφωσης

Ακολούθως, αναλύεται το σχήμα διαμόρφωσης QPSK το οποίο επιλέχθηκε για το στρατοσφαιρικό σύστημα που θα εξετάσουμε, καθώς και το σχήμα PSK, από το οποίο προέρχεται.

3.5.1 Phase Shift Keying Διαμόρφωση (PSK)

Κατά την PSK διαμόρφωση, η φάση του φέροντος σήματος εναλλάσσεται μεταξύ δύο τιμών που απέχουν κατά 180° , ανάλογα με το είδος του ψηφίου του μορφοποιημένου σήματος βασικής ζώνης που μεταδίδεται. Το διαμορφωμένο σήμα PSK, γράφεται ως εξής:

$$x_{PSK}(t) = A \cdot m(t) \cdot \cos[\omega_c \cdot t + \psi] \quad (3.10)$$

όπου:

A – το πλάτος του φέροντος σήματος

ω_c – η συχνότητα του φέροντος σήματος

ψ – η τυχαία φάση του τοπικού ταλαντωτή του πομπού

$m(t)$ – το μορφοποιημένο σήμα βασικής ζώνης, όπως δίνεται στη σχέση

(3.3) με τιμές ± 1

Από τη σχέση (3.10) προσδιορίζεται άμεσα το φάσμα των PSK σημάτων και είναι:

$$S_{PSK}(\omega) = \frac{A^2}{4} [S_m(\omega + \omega_c) + S_m(\omega - \omega_c)] \quad (3.11)$$

όπου το φάσμα $S_m(\omega)$ του σήματος βασικής ζώνης $m(t)$ δίνεται από τη σχέση (3.4).

Θεωρώντας ως εύρος ζώνης των PSK σημάτων, B_{PSK} , τη φασματική απόσταση μεταξύ των πρώτων μηδενισμών του φάσματος εκατέρωθεν της φέρουσας συχνότητας ω_c , προκύπτει:

$$B_{PSK} = \frac{2}{T} \quad (3.12)$$

Σημειώνεται ότι η παράμετρος $B_{PSK} \cdot T$ λαμβάνει πρακτικά τιμές συνήθως στο διάστημα 0,6 έως 1.

Η πιθανότητα λάθους κατά τη σύμφωνη αποδιαμόρφωση των σημάτων PSK είναι:

$$BEP_{PSK} = \text{erfc} \left\{ \sqrt{\frac{2E_b}{n_o}} \right\} \quad (3.13)$$

όπου:

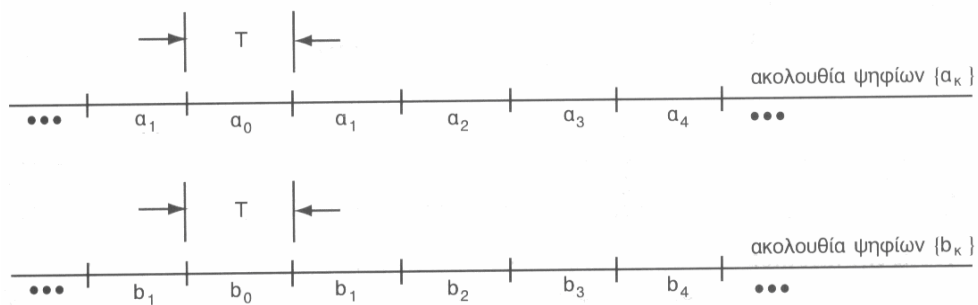
$$E_b = \frac{A^2 T}{2} \quad - \text{η ενέργεια ψηφίου}$$

$$n_o \quad - \text{η μονόπλευρη φασματική πυκνότητα ισχύος του}$$

θορύβου

3.5.2 Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) Διαμόρφωση

Η QPSK διαμόρφωση αποτελεί επέκταση της PSK διαμόρφωσης, στην οποία δύο ακολουθίες ψηφίων (Σχήμα 4.4) διαμορφώνονται κατά PSK σε δύο ορθογώνιες εκδοχές του φέροντος.



Σχήμα 3.2 – Ακολουθίες ψηφίων της QPSK διαμόρφωσης

Το διαμορφωμένο σήμα QPSK γράφεται ως εξής:

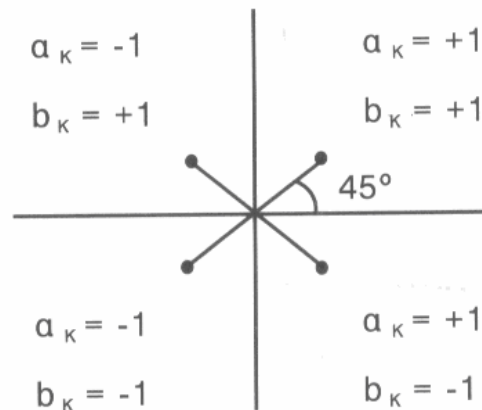
$$x_{QPSK}(t) = B \cdot m_c(t) \cdot \cos[\omega_c \cdot t + \psi] + B \cdot m_s(t) \cdot \sin[\omega_c \cdot t + \psi] \quad (3.14)$$

όπου $m_c(t)$ και $m_s(t)$ τα μορφοποιημένα σήματα βασικής ζώνης.

Γνωρίζοντας ότι τα σήματα $m_c(t)$ και $m_s(t)$ λαμβάνουν τιμές ± 1 , η παραπάνω σχέση είναι ισοδύναμη με:

$$x_{QPSK}(t) = \sqrt{2} \cdot B \cdot \cos[\omega_c \cdot t + k\pi/4], \quad k = 1, 3, 5, 7 \quad (3.15)$$

Επομένως, για ένα σήμα QPSK υπάρχουν 4 δυνατές καταστάσεις της φάσης, οι οποίες φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 3.3 Διάγραμμα φάσεων της QPSK διαμόρφωσης

Τελικά, σε κάθε κατάσταση φάσης κωδικοποιούνται δύο bits πληροφορίας, ή ισοδύναμα ένα σύμβολο πληροφορίας. Η αντιστοιχία μεταξύ των bits πληροφορίας και των φάσεων της διαμόρφωσης της QPSK φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Φάση	Δυαδική πληροφορία	
	a_k	b_k
45^0	1	1
135^0	-1	1
-135^0	-1	-1
-45^0	1	-1

Πίνακας 3.1 Αντιστοιχία μεταξύ φάσης και ψηφιακής πληροφορίας στην QPSK διαμόρφωση

Με βάση την σχέση (3.14) και εφόσον οι ακολουθίες ψηφίων είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους, προκύπτει το φάσμα των σημάτων QPSK:

$$S_{QPSK}(\omega) = \frac{B^2}{4} [S_{m_c}(\omega + \omega_c) + S_{m_c}(\omega - \omega_c) + S_{m_s}(\omega + \omega_c) + S_{m_s}(\omega - \omega_c)] \quad (3.16)$$

όπου $S_{m_c}(\omega)$ και $S_{m_s}(\omega)$ τα φάσματα των σημάτων βασικής ζώνης $m_c(t)$ και $m_s(t)$.

Όταν η μορφοποίηση των δύο σημάτων βασικής ζώνης έχει πραγματοποιηθεί με τον ίδιο τύπο μορφοποιητικών παλμών τότε το φάσμα του σήματος QPSK είναι ίδιο με το φάσμα του PSK.

$$S_{QPSK}(\omega) = S_{PSK}(\omega) \quad (3.17)$$

Σε αυτή την περίπτωση προκύπτει ότι η διαμόρφωση QPSK πλεονεκτεί έναντι της διαμόρφωσης PSK, αφού επιτρέπει πιο αποδοτική χρησιμοποίηση του εύρους ζώνης.

Η πιθανότητα λάθους κατά τη σύμφωνη αποδιαμόρφωση των σημάτων QPSK είναι:

$$BEP_{QPSK} = \text{erfc} \left\{ \sqrt{\frac{2E_b}{n_o}} \right\} \quad (3.18)$$

όπου $E_b = \frac{B^2 T}{2}$ η ενέργεια ψηφίου.

Για τη σύγκριση των δύο σχημάτων διαμόρφωσης PSK και QPSK, θεωρούμε ότι τα δύο σήματα εκπέμπονται με την ίδια ισχύ, οπότε η σχέση που συνδέει τα πλάτη των φερόντων σημάτων για τα δύο σχήματα διαμόρφωσης είναι $A = \sqrt{2}B$. Με βάση τη σχέση αυτή και θεωρώντας ότι επιτυγχάνεται ίδια πιθανότητα λάθους για τα δύο σχήματα διαμόρφωσης, προκύπτει:

$$E_{b,PSK} = E_{b,QPSK} \Rightarrow T_{PSK} = \frac{1}{2} T_{QPSK} \quad (3.19)$$

Έτσι, προκύπτει ότι το φάσμα του σήματος QPSK έχει εύρος ζώνης:

$$B_{QPSK} = \frac{2}{T_{QPSK}} = \frac{1}{T_{PSK}} = \frac{1}{2} B_{PSK} \quad (3.20)$$

Δηλαδή, το εύρος ζώνης του QPSK σήματος είναι το μισό από εκείνο ενός PSK σήματος, για ίδιο ρυθμό μετάδοσης και ίδια πιθανότητα λάθους.

Σημειώνεται βέβαια ότι ενδεχόμενο σφάλμα φάσης του τοπικού ταλαντωτή κατά την αποδιαμόρφωση του σήματος QPSK, οδηγεί σε μεγαλύτερη πιθανότητα λάθους σε σχέση με την αποδιαμόρφωση PSK. Ένας τρόπος αντιμετώπισης του συγκεκριμένου προβλήματος είναι η χρησιμοποίηση του OQPSK σχήματος διαμόρφωσης, που αναλύεται σε επόμενη παράγραφο.

Το QPSK σχήμα διαμόρφωσης είναι αυτό το οποίο έχει επιλεγεί για τις ανάγκες της υπό μελέτη δορυφορικής ζεύξης.

Σχήμα διαμόρφωσης	Bit Error Probability (BEP)	Φασματική απόδοση (bps/Hz)
PSK	$erfc\left\{\sqrt{\frac{2E_b}{n_o}}\right\}$	1
QPSK	$erfc\left\{\sqrt{\frac{2E_b}{n_o}}\right\}$	2
OQPSK	$erfc\left\{\sqrt{\frac{2E_b}{n_o}}\right\}$	2
DPSK (σύμφωνη)	$2 \cdot erfc\left\{\sqrt{\frac{2E_b}{n_o}}\right\} \cdot \left[1 - \sqrt{erfc\left\{\frac{2E_b}{n_o}\right\}}\right]$	1
DPSK (μη σύμφωνη)	$\frac{1}{2} \exp\left(-\frac{E_b}{n_o}\right)$	1
DQPSK	$4 \cdot erfc\left\{\sqrt{\frac{E_b}{n_o}}\right\}$	2
FSK (σύμφωνη)	$erfc\left\{\sqrt{\frac{E_b}{n_o}}\right\}$	$\frac{R_b}{2 \cdot (\Delta f + R_b)}$
FSK (μη σύμφωνη)	$\frac{1}{2} \exp\left(-\frac{E_b}{2n_o}\right)$	$\frac{R_b}{2 \cdot (\Delta f + R_b)}$
MSK	$erfc\left\{\sqrt{\frac{2E_b}{n_o}}\right\}$	2
GMSK	$\frac{1}{2} erfc\left\{\sqrt{\frac{E_b}{n_o}}\right\}$	2

Πίνακας 3.2 BEP διαφόρων σχημάτων διαμόρφωσης

3.6 Απόδοση φάσματος – Χωρητικότητα καναλιού

Η απόδοση φάσματος περιγράφει την ικανότητα ενός σχήματος διαμόρφωσης να μεταφέρει δεδομένα εντός καθορισμένου εύρους ζώνης συχνοτήτων και ορίζεται ως ο λόγος του ρυθμού μετάδοσης bit του καναλιού R_c (bps) ενός φέροντος προς το καταλαμβανόμενο εύρος ζώνης λειτουργίας B (Hz).

$$\Gamma = \frac{R_c}{B} \left(\frac{\text{bps}}{\text{Hz}} \right) \quad (3.21)$$

Γενικά, αύξηση του ρυθμού μετάδοσης, ισοδυναμεί με ελάττωση του χρονικού εύρους των παλμών και άρα αύξηση του απαιτούμενου εύρους ζώνης. Ωστόσο, αυτή η σχέση μεταξύ ρυθμού μετάδοσης και εύρους ζώνης εξαρτάται άμεσα από το σχήμα διαμόρφωσης. Για παράδειγμα, με διαθέσιμο εύρος ζώνης ίσο με 1Hz, η διαμόρφωση BPSK μπορεί θεωρητικά να πετύχει ρυθμό μεταφοράς 1bit/sec, ενώ η διαμόρφωση QPSK ρυθμό 2bits/sec. Δηλαδή, η θεωρητική φασματική απόδοση για τη BPSK διαμόρφωση είναι 1bps/Hz, ενώ για την QPSK είναι 2bps/Hz.

Στην πράξη, λαμβάνοντας υπόψη τις ατέλειες του καναλιού μετάδοσης, για τη διαμόρφωση QPSK, η οποία χρησιμοποιείται στο συγκεκριμένο σύστημα, η φασματική απόδοση είναι της τάξης των 1,4–1,6bps/Hz.

Το άνω φράγμα για το ρυθμό μετάδοσης που μπορεί να επιτευχθεί σε ένα κανάλι ονομάζεται χωρητικότητα του καναλιού και υπολογίζεται από το θεώρημα του Shannon σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$S = B \log_2 \left(1 + \frac{C}{N} \right) \quad (3.22)$$

όπου:

B - το εύρος ζώνης

$\frac{C}{N}$ - ο σηματοθορυβικός λόγος

Προφανώς, από τη σχέση αυτή υπολογίζεται και η μέγιστη απόδοση φάσματος που μπορεί να επιτευχθεί και είναι ίση με:

$$\Gamma_{\max} = \frac{S}{B} = \log_2 \left(1 + \frac{C}{N} \right) \quad (3.23)$$

Βιβλιογραφία 3^{ου} κεφαλαίου

- [1] ***Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες***, Φ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ, Χ ΚΑΨΑΛΗΣ & Π. ΚΩΤΤΗΣ, Εκδόσεις ΠΑΠΑΣΩΤΗΡΙΟΥ, ΑΘΗΝΑ
- [2] ***Δορυφορικές Τηλεπικοινωνίες***, Χ ΚΑΨΑΛΗΣ & Π. ΚΩΤΤΗΣ, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2003
- [3] ***Διαμόρφωση και Μετάδοση Σημάτων***, Π. Γ. ΚΩΤΤΗΣ, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2003
- [4] ***Συστήματα Επικοινωνίας***, SIMON HAYKIN, Εκδόσεις ΠΑΠΑΣΩΤΗΡΙΟΥ, ΑΘΗΝΑ, 1995
- [5] ***Δορυφορικές Επικοινωνίες: Συστήματα, Τεχνικές και Τεχνολογία***, G. MARAL – M. BOUSQUET, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2000

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

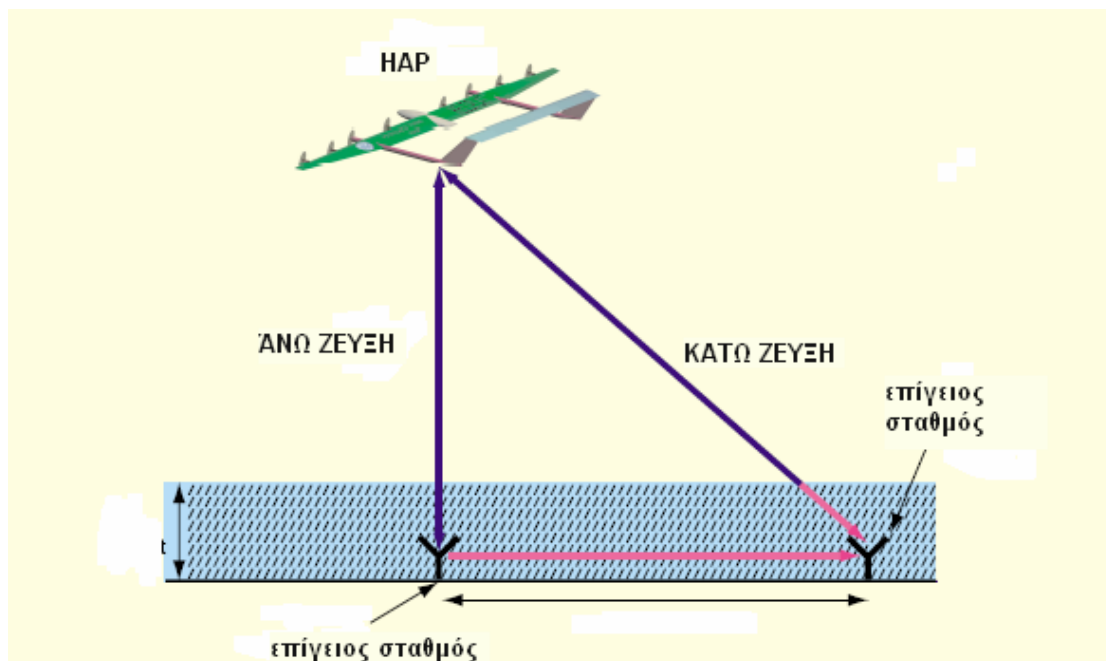
ΑΝΑΛΥΣΗ ΡΑΔΙΟΖΕΥΞΗΣ

4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό, εξετάζονται οι βασικές έννοιες που διέπουν τη ροή ισχύος από τον επίγειο σταθμό προς την πλατφόρμα και αντίστροφα, διαμέσου των καναλιών επικοινωνίας. Γενικά, η ραδιοζεύξη αποτελείται από δύο μέρη, την άνω ζεύξη (uplink) από τον επίγειο σταθμό προς την πλατφόρμα και την κάτω ζεύξη (downlink) από την πλατφόρμα στον επίγειο σταθμό. Τα είδη των απωλειών που υφίσταται το σήμα κατά τη διάδοση του προς τον εκάστοτε προορισμό περιγράφονται στη συνέχεια του κεφαλαίου.

Το ποσοστό της ισχύος που φθάνει στον τελικό του προορισμό καθορίζει την ικανότητά του δέκτη να αποδιαμορφώνει και να αποκωδικοποιεί σωστά τη μεταδιδόμενη πληροφορία. Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ένα μέτρο αυτής της ικανότητας συνιστά ο λόγος σήματος προς θόρυβο, C/N , στην είσοδο του δέκτη, που εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του πομπού, του δέκτη και το μέσο μετάδοσης. Στα ψηφιακά συστήματα η ικανότητα αυτή του δέκτη περιγράφεται συχνότερα με τη βοήθεια του λόγου ενέργειας συμβόλου προς τη φασματική πυκνότητα του θορύβου, E_b/N_0 , στη είσοδο του δέκτη.

Τα τμήματα μίας στρατοσφαιρικής ζεύξης φαίνονται στο σχήμα που ακολουθεί. Σημειώνεται ότι στο υπό εξέταση σύστημα, ο επίγειος σταθμός λειτουργεί ως πομποδέκτης έχοντας διπλό ρόλο.



Σχήμα 4.1 Τμήματα στρατοσφαιρικής ζεύξης

4.2 Επίγειος σταθμός – πομπός

Το σήμα βασικής ζώνης, που παράγεται από το χρήστη του στρατοσφαιρικού συστήματος, υφίσταται κατάλληλη επεξεργασία και διαμόρφωση QPSK ώστε να μεταφερθεί στην περιοχή των RF συχνοτήτων. Για το στρατοσφαιρικό σύστημα που θα εξετάσουμε η άνω ζεύξη χρησιμοποιεί τη ζώνη συχνοτήτων 47.9-48.2 GHz.

Η ισχύς εξόδου του ενισχυτή εκπομπής, $p_{Tx} (Watt)$ ή $P_{Tx} (dBW)$, οδηγείται μέσω γραμμής μεταφοράς με απώλεια τροφοδοσίας l_{Tx} ή $L_{Tx} (dB)$ στην κεραία του πομπού. Έτσι, η ονομαστική ισχύς εξόδου της κεραίας ισούται με $p_T = p_{Tx} / l_{Tx} (Watt)$. Κατόπιν, το σήμα εκπέμπεται προς την πλατφόρμα με τη βοήθεια κατευθυντικής κεραίας με υψηλό κέρδος έτσι ώστε να αντιμετωπιστεί η εξασθένηση στις υψηλές συχνότητες. Επίσης η κεραία αυτή έχει χαμηλή στάθμη των πλευρικών λοβών, που εξασφαλίζει την αποφυγή παρεμβολών και την αύξηση της εκπεμπόμενης ισχύος προς την επιθυμητή κατεύθυνση.

Εάν η κεραία του πομπού ήταν ιστροπική, η εκπεμπόμενη ισχύς P_T , θα είχε ομοιόμορφη χωρική κατανομή, και η πυκνότητα ισχύος στην περίπτωση αυτή θα ήταν,

$$I(R) = \frac{P_T}{4\pi R^2} \quad (4.1)$$

Στην περίπτωση που η κεραία του πομπού έχει κέρδος G_T , η προηγούμενη σχέση μετατρέπεται ως εξής:

$$I(R) = \frac{P_T \cdot G_T}{4\pi R^2} \quad (4.2)$$

Το γινόμενο της εκπεμπόμενης ισχύος από την κεραία επί το κέρδος της ονομάζεται “ισοδύναμη, ιστροπικά ακτινοβολούμενη ισχύς” (Equivalent Isotropically Radiated Power, EIRP), και είναι το σημαντικότερο χαρακτηριστικό κάθε πομπού. Στην πλευρά του δέκτη η ενεργός επιφάνεια της κεραίας του ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος που οδηγείται στην είσοδο του δέκτη προς την πυκνότητα ισχύος που προσπίπτει στην κεραία, και συνδέεται με το κέρδος της κεραίας με τη σχέση,

$$A_R = G_R \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (4.3)$$

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η τελευταία σχέση ισχύει υπό συνθήκες βέλτιστης προσαρμογής και προσανατολισμού. Συνεπώς η λαμβανόμενη ισχύς στο δέκτη θα έχει τη μορφή,

$$P_R = \frac{P_T \cdot G_T}{4\pi R^2} \cdot A_R \Rightarrow \frac{P_R}{P_T} = G_T \cdot G_R \frac{\lambda^2}{(4\pi R)^2} \quad (4.4)$$

Η προηγούμενη ανάλυση ισχύει για την ιδανική περίπτωση, όπου δεν υπάρχουν άλλες απώλειες εκτός αυτών του κενού χώρου. Στο σύστημα που μελετάμε η σχέση επεκτείνεται για να καλύπτει πρακτικές περιπτώσεις ως εξής:

$$\frac{P_R}{P_T} = \frac{G_T \cdot G_R}{L} \quad (4.5)$$

όπου,

$$L = L_{\kappa\chi} L_u = L_{\kappa\chi} \cdot \prod_{i=1}^6 (L_i) \quad (4.6)$$

$L_{\kappa\chi}$, αντιπροσωπεύει απώλειες κενού χώρου

L_1 , αντιστοιχεί στις απώλειες μεταξύ της εξόδου του πομπού και της κεραίας εκπομπής (γραμμή μεταφοράς, φίλτρα κλπ),

L_2 , αντιστοιχεί στην απώλειες της ατμόσφαιρας,

L_3 , αντιπροσωπεύει τις απώλειες νεφώσεων και βροχόπτωσης,

L_4 , αντιπροσωπεύει τις απώλειες που οφείλονται σε αποπόλωση του H/M κύματος στο μέσο διάδοσης,

L_5 , αντιστοιχεί στις απώλειες αποπροσανατολισμού των κεραιών που οφείλεται κυρίως σε ατελή σταθεροποίηση της πλατφόρμας, ή τοποθέτηση του επίγειου σταθμού κοντά στα όρια της περιοχής κάλυψης, και

L_6 , αντιπροσωπεύει τις απώλειες μεταξύ της κεραίας και της εισόδου του δέκτη (αντίστοιχη των L_1).

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται συνοπτικά τα σημαντικότερα τηλεπικοινωνιακά χαρακτηριστικά του πομπού του επίγειου σταθμού για το υπό μελέτη σύστημα:

ΕΠΙΓΕΙΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ – ΠΟΜΠΟΣ				
Παράμετρος	Σύμβολο	Τιμή		
Ισχύς Τροφοδοσίας Κεραίας (dBW)	P_{Tx}	-8.2	-7	-1.5
Απώλειες Τροφοδοσίας (dB)	L_{Tx}	0.5	0.5	0.5
Μέγιστο Κέρδος Κεραίας (dBi)	$G_{Tx,max}$	23	38	38
Ενεργός Ισοστροπικά Αντινοβολούμενη Ισχύς	$EIRP_{UP}$	14.3	30.5	36

Πίνακας 4.1 Τηλεπικοινωνιακά χαρακτηριστικά επίγειου πομπού

4.3 Άνω ζεύξη (uplink)

Εξετάζουμε στη συγκεκριμένη ενότητα τους διάφορους μηχανισμούς που επηρεάζουν τη διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων μέσα από την ατμόσφαιρα. Αν εξαιρέσουμε την περίπτωση των εμποδίων και γενικά τα φαινόμενα που έχουν σχέση με τη μορφολογία του εδάφους, που θα εξετασθούν σε ιδιαίτερη ενότητα, όλοι οι άλλοι μηχανισμοί σχετίζονται με τη μεταβολή της διηλεκτρικής σταθεράς με το υψόμετρο.

Όπως ήδη προαναφέρθηκε τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα όταν διαδίδονται στον κενό χώρο υπόκεινται μόνο σε απόσβεση $L_{\kappa\kappa}$. Στην περίπτωση όμως των στρατοσφαιρικών δικτύων, το σήμα μετά την εκπομπή του από τον επίγειο σταθμό, διέρχεται από την τροπόσφαιρα και τη στρατόσφαιρα για να φτάσει στην πλατφόρμα. Κατά τη διάδοσή του στην ατμόσφαιρα υφίσταται επιπλέον απορρόφηση, διάχυση, διάθλαση και περιστροφή του επιπέδου πόλωσής του.

Το μέγεθος της επίδρασης αυτών των φαινομένων στην ποιότητα των μεταδόσεων εξαρτάται από το μήκος της διαδρομής του σήματος και παίζει σημαντικό ρόλο ιδίως όταν η ζεύξη γίνεται με μικρή γωνία ανύψωσης. Επειδή η πυκνότητα της ατμόσφαιρας μειώνεται συναρτήσει της απόστασης από τη γη, η προκαλούμενη απόσβεση του σήματος από την ατμόσφαιρα θα είναι μικρότερη σε μεγαλύτερα υψόμετρα. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την εξάρτηση της συνολικής ατμοσφαιρικής απόσβεσης από τη γωνία ανύψωσης. Οι κατακόρυφες μεταδόσεις υπερτερούν σημαντικά από τις μεταδόσεις κοντά στον ορίζοντα. Στις συχνότητες στις οποίες λειτουργεί το στρατοσφαιρικό σύστημα, μόνο το στρώμα της τροπόσφαιρας επηρεάζει τη διάδοση του κύματος. Η τροπόσφαιρα πρακτικά εκτείνεται από το έδαφος έως το υψόμετρο των 10 km περίπου και η περιοχή στην οποία η επίδραση στο σήμα είναι μέγιστη, είναι κοντά στο έδαφος.

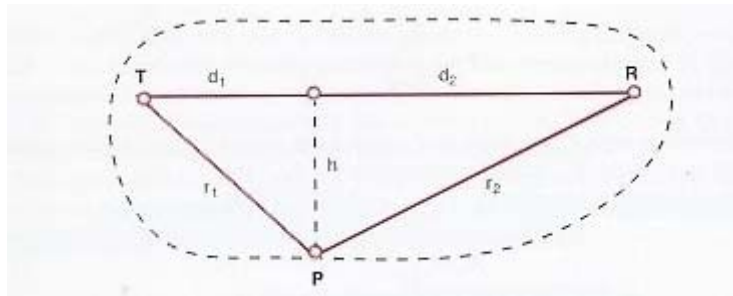
Το μεταδιδόμενο σήμα υφίσταται εξασθένιση που οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, οι οποίοι αναλύονται ακολούθως.

4.3.1 Απώλειες Ελευθέρου Χώρου (Free-Space Losses)

Συνιστούν την κυριότερη αιτία απωλειών σε κάθε ραδιοηλεκτρονικό σύστημα. Όταν εννοούμε ελεύθερο χώρο αναφερόμαστε σε μία περιοχή ελεύθερη από άλλα αντικείμενα που θα μπορούσαν να απορροφήσουν ή να σκεδάσουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Με άλλα, ο ελεύθερος χώρος είναι ένα ιδανικό-ισοτροπικό μέσο χωρίς απώλειες με γραμμική συμπεριφορά και η διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων γίνεται μέσω ομόκεντρων σφαιρικών κυμάτων. Κατά συνέπεια, η κατανομή του ηλεκτρικού πεδίου εξαρτάται από την απόσταση και όχι από την κατεύθυνση. Η απαίτηση του ελευθέρου χώρου είναι βέβαια ιδανική και στην πράξη ικανοποιείται προσεγγιστικά, θεωρώντας ότι ο χώρος που βρίσκεται μέσα στην πρώτη ζώνη Fresnel είναι ελεύθερος από εμπόδια και γενικά σκεδαστές της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, η στάθμη του

σήματος θα είναι αρκετά κοντά στην τιμή του ελευθέρου χώρου εκτός από πιθανές ανακλάσεις στο έδαφος και ατμοσφαιρικές επιδράσεις.

Είναι ανάγκη λοιπόν, να παρουσιάσουμε τον ορισμό των ζωνών Fresnel ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος, που είναι μία σημαντική έννοια στην ανάπτυξη της θεωρίας διάδοσης ελευθέρου χώρου. Με βάση αυτή τη λογική δεχόμαστε ότι η διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων προσομοιώνεται με τη διαδρομή οπτικής ακτίνας, και ισχύουν μεθοδολογίες γεωμετρικής και φυσικής οπτικής.



Σχήμα 4.2 Ορισμός ζωνών Fresnel ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος

Συγκεκριμένα, με αναφορά στο σχήμα 4.2 ονομάζουμε n-οστή ζώνη Fresnel εκείνη την επιφάνεια ελλειψοειδούς εκ περιστροφής με εστίες τα σημεία εκπομπής και λήψης, για την οποία το άθροισμα των αποστάσεων μεταξύ πομπού και δέκτη και ενός σημείου στην επιφάνεια του ελλειψοειδούς να υπερβαίνει κατά $n(\lambda/2)$ την απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη, δηλαδή

$$\Delta = (r_1 + r_2) - (d_1 + d_2) = \frac{n\lambda}{2}$$

όπου λ το μήκος κύματος του ελευθέρου χώρου.

Συνδυάζοντας τις σχέσεις για ιδανικές, ιστροπικές κεραίες στον πομπό και στο δέκτη ($G_T, G_R = 1$) αποδεικνύεται πως οι απώλειες ελευθέρου χώρου είναι συνάρτηση του μήκους κύματος λ του σήματος καθώς και της απόστασης D μεταξύ πομπού και δέκτη και ορίζεται ως το πηλίκο της εκπεμπόμενης ισχύος προς τη λαμβανόμενη ισχύ. Υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$L_{FS} = \left(\frac{4\pi \cdot D}{\lambda} \right)^2 \quad (4.7.\alpha)$$

ή

$$L_{FS} = 32,4 + 20 \log D_{km} + 20 \log f_{MHz} \quad (dB) \quad (4.7.\beta)$$

Για το εν λόγω δορυφορικό σύστημα, αν θεωρήσουμε ότι η πλατφόρμα είναι τοποθετημένη στα 21 km πάνω από το επίπεδο της θάλασσας, οι ελάχιστες ατμοσφαιρικές απώλειες προκύπτουν για τις ζεύξεις με το ελάχιστο δυνατό μήκος, δηλαδή για τις ζεύξεις της πλατφόρμας με τα τερματικά που βρίσκονται στη UAC ζώνη. Οι τιμές αυτών έχουν υπολογιστεί προσεγγιστικά

$$L_{UP,FS,UAC} = 158.4473dB$$

Αντίστοιχα για τη ζώνη SAC

$$L_{UP,FS,SAC} = 164.017dB$$

ενώ οι μέγιστες απώλειες αντιστοιχούν στη ζώνη RAC

$$L_{UP,FS,RAC} = 172.2134dB$$

Η αρχή της διάδοσης ελευθέρου χώρου προϋποθέτει ότι η ατμόσφαιρα είναι ομογενές μέσο και μη απορροφητικό, καθώς επίσης ότι το έδαφος είναι σε άπειρη απόσταση, η πρακτικά ο συντελεστής ανάκλασης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων πάνω σε αυτό είναι αμελητέος. Αν εξαιρέσουμε την περίπτωση της μορφολογίας του εδάφους μεταβλητής με το χρόνο (όπως η θαλάσσια επιφάνεια), καθώς και τις ανώμαλες μεταβολές των ατμοσφαιρικών συνθηκών τότε τα προηγούμενα φαινόμενα συνιστούν μια κατά το μάλλον ή ήττον σταθερά με το χρόνο απώλεια διάδοσης της ισχύος του σήματος. Σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα, η σταθερή αυτή απώλεια αφαιρείται πάντα από την απώλεια διάδοσης ελευθέρου χώρου. Κατ' αυτόν τον τρόπο, καθορίζεται η στάθμη του σηματοθορυβικού λόγου υπό κανονικές, δηλαδή χωρίς διαλείψεις συνθήκες. Εκτός όμως από αυτή τη σταθερή με το χρόνο απώλεια διάδοσης της ισχύος του σήματος, παρατηρείται επίσης μία χρονική διακύμανση της στάθμης λήψεως του σήματος, που εξαρτάται από τη φέρουσα συχνότητα και συμπίπτει με ορισμένες μετεωρολογικές συνθήκες, εποχιακές και τοπικές. Αυτού του είδους τα φαινόμενα συνιστούν τις διαλείψεις, που μπορεί να προκαλέσουν μεγάλες αποσβέσεις στο σήμα. Η ένταση γενικά της διάλειψης αυξάνει με τη συχνότητα του φέροντος και το μήκος της ζεύξεως. Λόγω γενικά του μεγάλου αριθμού των παραγόντων που συμβάλλουν στην δημιουργία των διαλείψεων, οι διαλείψεις είναι ένα τυχαίο φαινόμενο που μπορεί να καθορισθεί μόνο με τη χρήση μίας συνάρτησης στατιστικής κατανομής. Οι κυριότερες αιτίες διαλείψεων που αναφέρονται σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα είναι:

- Το φαινόμενο των πολλαπλών διοδεύσεων, που οφείλεται βασικά στη συμβολή κυμάτων που φθάνουν στο δέκτη ακολουθώντας διάφορους δρόμους. Το φαινόμενο αυτό είναι πολύ σημαντικό και λαμβάνεται πολύ σοβαρά στη σχεδίαση των τηλεπικοινωνιακών ζεύξεων, αλλά για συχνότητες κάτω των 10 GHz. Τα στρατοσφαιρικά δίκτυα

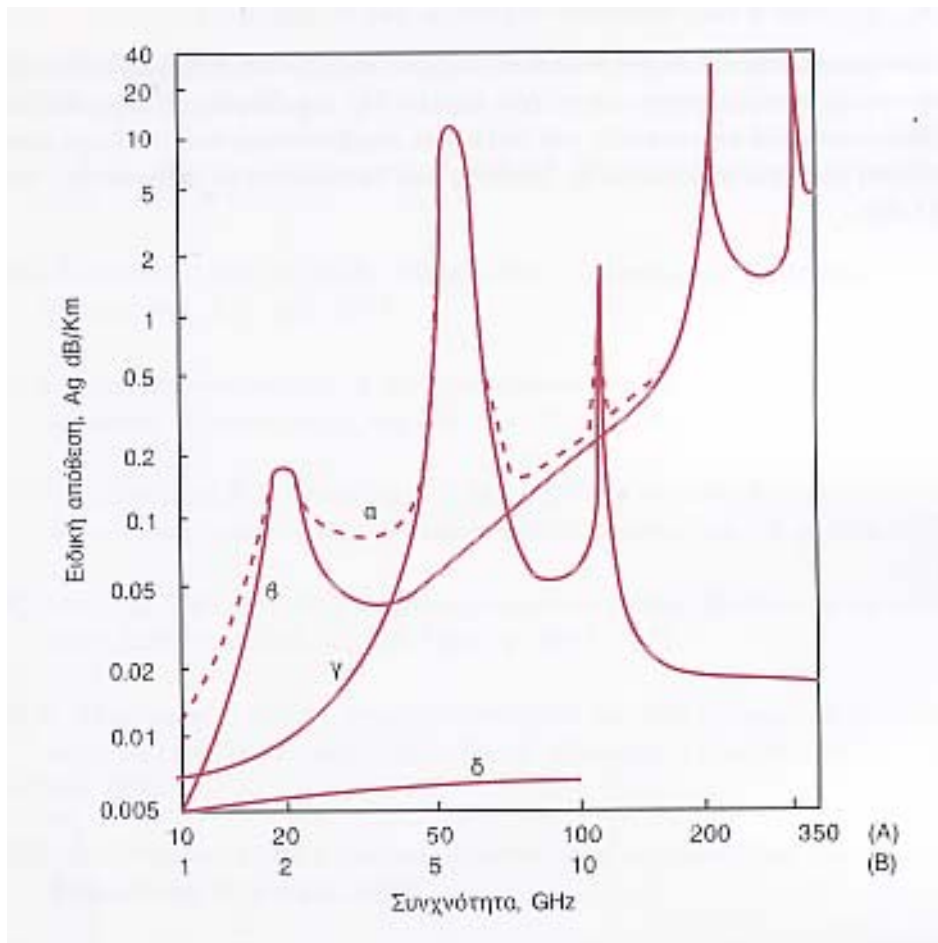
χρησιμοποιούν κατά κύριο λόγο τις ζώνες συχνοτήτων 47.2-47.5 GHz και 47.9-48.2 GHz, οπότε δε θα μας απασχολήσει το φαινόμενο των πολλαπλών διοδεύσεων.

- Οι διαλείψεις που οφείλονται στην εξασθένηση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος από ατμοσφαιρικές κατακρυσμνήσεις (π.χ. βροχή, χιόνι και χαλάζι). Η απόσβεση που εισάγεται λόγω των συγκεκριμένων σκεδαστών είναι πολύ σημαντική, αλλά μόνο για συχνότητες του φέροντος κύματος που υπερβαίνουν τα 10 GHz..
- Για συχνότητες που υπερβαίνουν τα 30 GHz αξιόλογη επίδραση έχει επίσης και η απορρόφηση που εισάγουν στο διαδιδόμενο σήμα τα αέρια της ατμόσφαιρας, όπως το οξυγόνο και οι ατμοί.

Περιγράψουμε παρακάτω με περισσότερες λεπτομέρειες τις δύο αιτίες διαλείψεων που μας ενδιαφέρουν κατά τη διάδοση του σήματος στην ατμόσφαιρα.

4.3.2 Απώλειες Τροπόσφαιρας

Σε συχνότητες γύρω στα 50 GHz, καθώς και σε μεγαλύτερες, η απόσβεση που εισάγεται από τα ατμοσφαιρικά αέρια, υπερβαίνει κατά πολύ την απόσβεση που σχετίζεται ακόμα και με την πιο έντονη βροχόπτωση. Οι κυριότερες ατμοσφαιρικές συνιστώσες που εισάγουν απόσβεση στο διαδιδόμενο σήμα, είναι το οξυγόνο και οι υδρατμοί, αν και η παρουσία σύνθετων μορίων στους υδρατμούς μπορεί να έχει κάποια επίδραση ακόμη και σε συχνότητες πάνω από 100 GHz. Το οξυγόνο απορροφά ενέργεια από τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα εξαιτίας της ηλεκτρικής διπολικής ροπής, ενώ οι υδρατμοί λόγω της μαγνητικής διπολικής ροπής. Η συμβολή στην εξασθένηση από αυτά τα δύο αέρια δείχνεται στο διάγραμμα 4.1, υποθέτοντας κανονικές συνθήκες πίεσης, θερμοκρασίας και υγρασίας.



Διάγραμμα 4.1 Ειδική απόσβεση λόγω οξυγόνου και υδρατμών

Όπως φαίνεται από το προηγούμενο σχήμα, η απορρόφηση λόγω υδρατμών έχει μέγιστα στις συχνότητες 22.5, 183 και 320 GHz, ενώ η απορρόφηση λόγω οξυγόνου παρουσιάζει ένα αρκετά ευρύ μέγιστο στα 60 GHz και ένα πιο στενό στα 119 GHz.

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφέρουμε ότι η απορρόφηση λόγω οξυγόνου σε κάθε ύψος είναι προσεγγιστικά σταθερή με το χρόνο, όπως ακριβώς και η αναλογία του οξυγόνου στην ατμόσφαιρα. Αντίθετα, το περιεχόμενο υδρατμών είναι μία ποσότητα που έντονα διακυμαίνεται με το χρόνο, και ως εκ τούτου η αντίστοιχη απορρόφηση ακολουθεί τον ίδιο νόμο.

Σαν ένα γενικό συμπέρασμα, οι διαλείψεις που οφείλονται στο φαινόμενο της ατμοσφαιρικής απορρόφησης λόγω των αερίων της ατμόσφαιρας (οξυγόνο και υδρατμοί) είναι πολύ σημαντικές και πρέπει να λαμβάνονται πολύ σοβαρά υπόψη κατά τη σχεδίαση μίας ζεύξης που λειτουργεί σε συχνότητες άνω των 30 GHz.

Για το εν λόγω δορυφορικό σύστημα, αν θεωρήσουμε ότι η πλατφόρμα είναι τοποθετημένη στα 21 km πάνω από το επίπεδο της θάλασσας, οι ελάχιστες ατμοσφαιρικές απώλειες προκύπτουν για τις ζεύξεις με το ελάχιστο δυνατό μήκος, δηλαδή για τις ζεύξεις της πλατφόρμας με τα τερματικά που βρίσκονται στη UAC ζώνη. Αυτές έχουν υπολογιστεί προσεγγιστικά

$$L_{UP,atm,UAC} = 2.8dB$$

Αντίστοιχα για τη ζώνη SAC

$$L_{UP,atm,SAC} = 5.8dB$$

ενώ οι μέγιστες απώλειες αντιστοιχούν στη ζώνη RAC

$$L_{UP,atm,RAC} = 7.7dB$$

4.3.3 Απώλειες Ατμοσφαιρικών Κατακρημνίσεων

4.3.3.1 Διαλείψεις που οφείλονται στην εξασθένηση των Η/Μ κυμάτων λόγω ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων

Η συνεχώς αυξανόμενη ανάγκη για τη χρησιμοποίηση υψηλών συχνοτήτων, έχει οδηγήσει τα τελευταία χρόνια στην ανάγκη μελέτης της επίδρασης των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων (βροχή, χιόνι, χαλάζι, παγοκρύσταλλοι) στη διάδοση των ραδιοκυμάτων. Τα ρεύματα μετατόπισης που επάγονται στους υδρομετεωρίτες κατά τη διάδοση ενός ραδιοκύματος έχουν ως αποτέλεσμα τη σκέδαση και απορρόφηση μέρους της ενέργειας του κύματος. Η απώλεια ενέργειας που οφείλεται στα προηγούμενα αίτια είναι πολύ σημαντική στις συχνότητες πάνω από 10 GHz. Επιπλέον, η σκέδαση μπορεί να προκαλέσει και φαινόμενα παρεμβολών μεταξύ γειτονικών συστημάτων, κυρίως μεταξύ επίγειων και δορυφορικών ζεύξεων.

Σημειώνεται ότι, η σχετική συμβολή των δύο αιτίων (σκέδασης και απορρόφησης) στην τελική εξασθένηση του διαδιδόμενου ραδιοκύματος εξαρτάται από τη σχέση των μεγεθών των υδρομετεωριτών με το μήκος κύματος. Για μήκη κύματος που είναι μεγάλα σε σύγκριση με το μέγεθος της σταγόνας, η εξασθένηση του ραδιοκύματος λόγω απορρόφησης θα υπερτερεί έναντι της σκέδασης. Αντίστροφα, τα μήκη κύματος που αντιστοιχούν στις συχνότητες στις οποίες λειτουργεί ένα στρατοσφαιρικό σύστημα, είναι μικρά σε σύγκριση με τη βροχοσταγόνα, οπότε η σκέδαση θα κυριαρχεί.

Το χιόνι και το χαλάζι έχουν σχετικά μικρότερη επίδραση στα ραδιοκύματα σε σχέση με τη βροχόπτωση. Αυτό συμβαίνει διότι η μιγαδική διηλεκτρική σταθερά του πάγου είναι πολύ μικρότερη σε σύγκριση με αυτή του νερού. Παρόλα αυτά όμως, όταν το χιόνι αρχίζει να λιώνει καθώς πέφτει, οι νιφάδες μπορεί να συκρατούν νερό υπό μορφή πολύ μεγάλων σταγόνων σε σύγκριση με την κανονική βροχή, και συνεπώς να προκαλούν πολύ μεγαλύτερη σκέδαση ή απόσβεση. Από την άλλη μεριά, οι μικρές σταγόνες που υπάρχουν στα σύννεφα έχουν σχετικά μικρή επίδραση στα ραδιοκύματα για συχνότητες κάτω περίπου από τα 20 GHz, αλλά σε ψηλότερες συχνότητες προκαλούν και αυτές αξιοσημείωτη απόσβεση. Σαν ένα τελικό

συμπέρασμα, για τις συχνότητες που αυτή την εποχή κυριώς ενδιαφέρουν τις τηλεπικοινωνίες, οι βροχοπτώσεις έχουν τη μεγαλύτερη επίδραση στις μεταδόσεις. Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα υφίσταται σκέδαση και απορρόφηση εξαιτίας των εν λόγω κατακρημνίσεων, με αποτέλεσμα η εξασθένηση που προκαλείται να είναι πολλαπλάσια από αυτή που εμφανίζεται απουσία βροχής.

4.3.3.2 Υπολογισμός ειδικής απόσβεσης λόγω βροχής

Η καλή λειτουργία ενός δορυφορικού συστήματος κατά τη διάρκεια βροχόπτωσης προϋποθέτει επαρκή μελέτη του φαινομένου. Με αυτόν τον τρόπο είναι εφικτός ο σχεδιασμός ενός δορυφορικού συστήματος με περιθώριο ισχύος τέτοιο, ώστε να επιτρέπεται η υπερπήδηση της μέγιστης πρόσθετης απόσβεσης, που προκαλεί η βροχή. Η πρόσθετη αυτή απόσβεση εξαρτάται από τη συχνότητα λειτουργίας, το ύψος βροχόπτωσης και το μήκος της διαδρομής του ραδιοκύματος μέσα στη βροχή.

Το μαθηματικό πρότυπο που χρησιμοποιείται πιο συχνά για την περιγραφή της απόσβεσης που προκαλείται από τη βροχόπτωση είναι το ακόλουθο:

$$\gamma(\text{dB} / \text{km}) = a \cdot r^b \quad (4.8)$$

όπου:

r , το ύψος της βροχόπτωσης (mm/h), που καθορίζεται ανάλογα με τη γεωγραφική θέση ενός τόπου, σύμφωνα με πίνακες που έχει ορίσει η ITU.

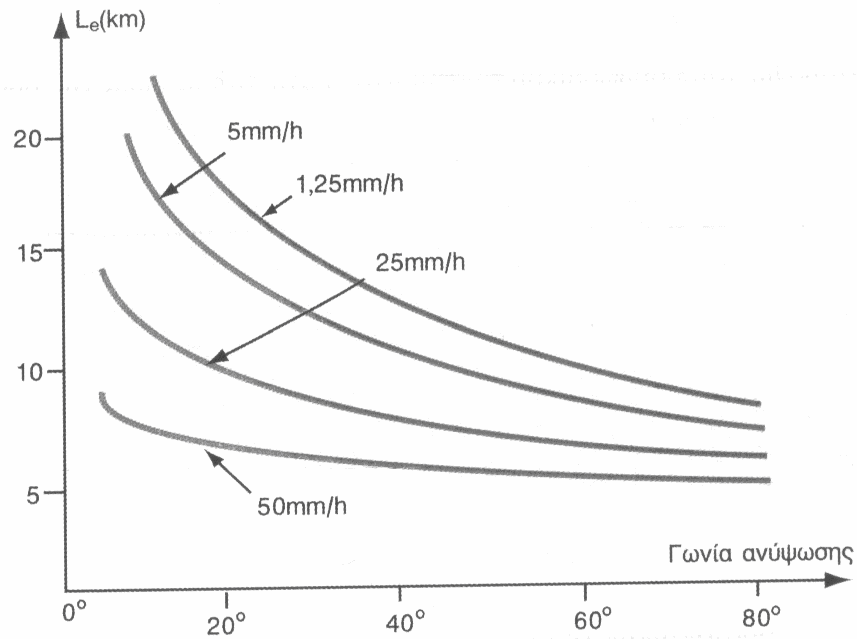
γ , ειδική απόσβεση

a, b , παράμετροι που προκύπτουν από εμπειρικά δεδομένα

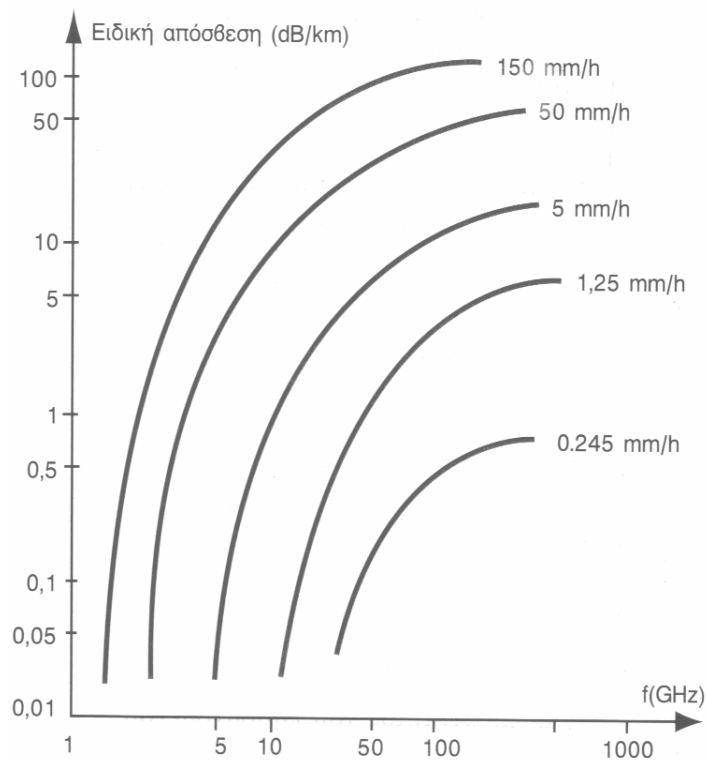
Η συνολικά απόσβεση λόγω βροχόπτωσης υπολογίζεται σαν το γινόμενο της ειδικής απόσβεσης, γ , επί το μέσο μήκος διαδρομής υπό βροχή L_e .

$$l_{RAIN} = \gamma \cdot L_e \quad (\text{dB}) \quad (4.9)$$

Εμπειρικά, ο υπολογισμός της απόσβεσης μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια των παρακάτω δύο σχημάτων.



Διάγραμμα 4.2 Μεταβολή μήκους εντός βροχής συναρτήσει της γωνίας ανύψωσης και του ύψους βροχής



Διάγραμμα 4.3 Ειδική απόσβεση συναρτήσει της συχνότητας και του ρυθμού βροχόπτωσης

Η απόσβεση που εισάγεται λόγω των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων είναι πολύ σημαντική αλλά μόνο όταν η συχνότητα φέροντος υπερβαίνει τα 10GHz. Σε μικρότερες συχνότητες και επομένως μεγαλύτερα μήκη κύματος, οι ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις, όπως τα σταγονίδια της βροχής, δεν γίνονται “αντιληπτά” από το ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

Για το υπό μελέτη στρατοσφαιρικό σύστημα, αν θεωρήσουμε ότι η πλατφόρμα είναι τοποθετημένη στα 21 km πάνω από το επίπεδο της θάλασσας, οι ελάχιστες ατμοσφαιρικές απώλειες προκύπτουν για τις ζεύξεις με το ελάχιστο δυνατό μήκος, δηλαδή για τις ζεύξεις της πλατφόρμας με τα τερματικά που βρίσκονται στη UAC ζώνη. Οι απώλειες αυτών έχουν υπολογιστεί προσεγγιστικά

$$L_{UP,rain,UAC} = 11.2dB$$

Αντίστοιχα για τη ζώνη SAC

$$L_{UP,rain,SAC} = 14.9dB$$

ενώ οι μέγιστες απώλειες αντιστοιχούν στη ζώνη RAC

$$L_{UP,rain,RAC} = 22.4dB$$

4.3.4 Απώλειες λόγω αποπόλωσης

Σε αυτή την παράγραφο θα αναφερθούν ορισμένες βασικές έννοιες που σχετίζονται με την αποπόλωση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που διέρχονται μέσα από βροχή. Το φαινόμενο της αποπόλωσης εξαρτάται άμεσα από τη διάλειψη που υφίσταται το σήμα κατά τη διέλευση του μέσα από βροχή, και πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπ’ όψη κατά τη σχεδίαση ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος «αναχρησιμοποίησης συχνότητας». Όπως είναι γνωστό, τα τελευταία χρόνια πολλά τηλεπικοινωνιακά συστήματα (επίγεια και δορυφορικά) χρησιμοποιούν ορθογώνιες πολώσεις στην ίδια φέρουσα συχνότητα. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μεγαλύτερη χωρητικότητα στη μετάδοση πληροφορίας. Η τεχνική αυτή αποκαλείται «αναχρησιμοποίηση συχνότητας» (frequency reuse). Για να είναι όμως αξιόπιστη η μετάδοση πληροφορίας στην περίπτωση αυτή, πρέπει να διατηρείται μια επαρκής απομόνωση μεταξύ των κάθετα πολωμένων καναλιών. Ένας μεγάλος περιοριστικός παράγοντας είναι ακριβώς η ελάττωση αυτής της απομόνωσης, και συνεπώς η παρεμβολή μεταξύ αυτών των καναλιών λόγω διασταύρωσης πόλωσης, που οφείλεται κύρια σε φαινόμενα διάδοσης κατά μήκος της ζεύξης. Η κύρια αιτία για την εισαγωγή αποπόλωσης στο διαδιδόμενο σήμα, ειδικά σε συχνότητες πάνω από 10 GHz, είναι οι ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις κατά μήκος της ζεύξης και ιδιαίτερα οι βροχοπτώσεις.

Οι κυριότεροι παράγοντες του μέσου βροχής που συμβάλλουν στην αποπόλωση του σήματος είναι η μη σφαιρικότητα των σταγονιδίων και η τυχαία γωνία κλίσης αυτών ως προς την κατακόρυφο, η οποία εξαρτάται από την

κατεύθυνση του ανέμου στη συγκεκριμένη περιοχή. Για τον υπολογισμό της αποπόλωσης, που εισάγει το φαινόμενο της βροχής, έχουν αναπτυχθεί πολλές θεωρητικές μελέτες και αρκετοί ημιεμπειρικοί τύποι.

Για τη συχνότητα λειτουργίας του υπό μελέτη στρατοσφαιρικού συστήματος, οι απώλειες λόγω αποπόλωσης, έχουν υπολογιστεί ίσες με:

$$L_{UP,DEPOL} \approx 0,5dB$$

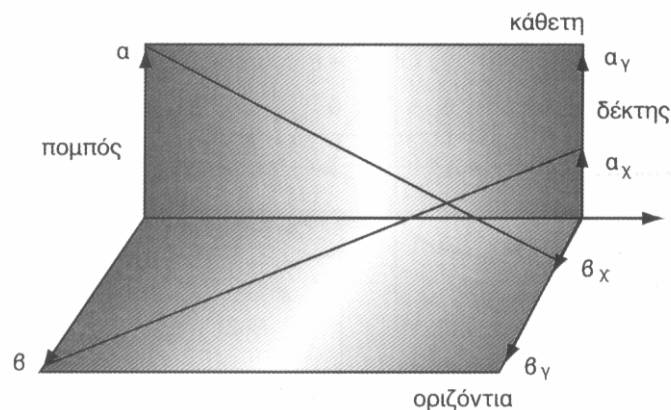
Για την ποσοτική περιγραφή της αποπόλωσης του σήματος, θεωρούμε ότι ο πομπός εκπέμπει ταυτόχρονα δύο σήματα α και β με κάθετες γραμμικές πολώσεις. Στο δέκτη λαμβάνονται τα σήματα α_γ και β_γ , τα οποία έχουν την ίδια πόλωση με αυτή των εκπεμπόμενων καθώς και τα α_χ και β_χ , με κάθετη πόλωση από αυτή της εκπομπής τους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.3. Με χρήση αυτών των σημάτων ορίζεται η διασταύρωση πόλωσης XPD και η απομόνωση διασταύρωσης πόλωσης XPI .

$$XPD = 20 \log \frac{\alpha_\gamma}{\alpha_\chi} \quad (dB) \quad (4.10)$$

$$XPI = 20 \log \frac{\alpha_\gamma}{\beta_\chi} \quad \text{ή} \quad 20 \log \frac{\beta_\gamma}{\alpha_\chi} \quad (dB) \quad (4.11)$$

Στην περίπτωση κατά την οποία υπάρχει περίπου κυκλική πόλωση, που χαρακτηρίζεται από την τιμή του αξονικού λόγου AR , η διασταύρωση πόλωσης XPD ορίζεται ως:

$$XPD = 20 \log \left(\frac{AR+1}{AR-1} \right) \quad (dB) \quad (4.12)$$



Σχήμα 4.3 Λήψη ορθογώνιων πολώσεων

4.3.5 Σύνοψη Απωλειών

Οι συνολικές απώλειες που υφίσταται το σήμα της άνω ζεύξης είναι το άθροισμα όλων των παραπάνω μη μηδενικών απωλειών εκφρασμένων σε *dB*.

$$L_{UP,TOT} = \sum L_{UP} = L_{UP,FS} + L_{UP,atm} + L_{UP,rain} + L_{UP,DEPOL} \quad (dB) \quad (4.14)$$

Συνοπτικά λοιπόν, για την άνω ζεύξη του υπό μελέτη συστήματος, η οποία έχει λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων 47.9-48.2 GHz, θεωρούμε ότι:

ΑΝΩ ΖΕΥΞΗ (UPLINK)				
Είδος Απωλειών	Σύμβολο	Τιμή (dB)		
Ελευθέρου Χώρου	$L_{UP,FS}$	158.4473	164.017	172.2134
Ατμόσφαιρας	$L_{UP,atm}$	2.8	5.8	7.7
Ατμοσφαιρικών Κατακρημνίσεων	$L_{UP,RAIN}$	11.2	14.9	22.4
Αποπόλωσης	$L_{UP,DEPOL}$	0.5		
Συνολικές	$L_{UP,TOT}$	172.95	185.22	202.81

Πίνακας 4.2 Σύνοψη απωλειών άνω ζεύξης

4.4 Στρατοσφαιρική Πλατφόρμα

Η ισχύς που λαμβάνεται από την κεραία της πλατφόρμας, κέρδους $g_{r,hap}$ ή $G_{R,HAP}$ (dBi), οδηγείται στο δέκτη της πλατφόρμας μέσω γραμμής μεταφοράς, που εισάγει επιπλέον απώλεια στο σήμα $l_{rx,hap}$ ή $L_{Rx,HAP}$ (dB). Έτσι, τελικά η λαμβανόμενη ισχύς από το δέκτη της πλατφόρμας είναι:

$$p_{r,hap} = \frac{eirp_{up} \cdot g_{r,hap}}{l_{up,tot} \cdot l_{rx,hap}} \quad (Watt) \quad (4.15.a)$$

ή

$$P_{R,HAP} = EIRP_{UP} + G_{R,HAP} - L_{UP,TOT} - L_{Rx,HAP} \quad (dBW) \quad (4.15.β)$$

Εκτός του σήματος πληροφορίας, η κεραία της πλατφόρμας, που χαρακτηρίζεται από θερμοκρασία θορύβου $T_{A,HAP}$, λαμβάνει και ισχύ θορύβου. Στην είσοδο του δέκτη η ισχύς του θορύβου είναι ίση με:

$$N_{UP} = N_0 \cdot B_N \quad (dBW) \quad (4.16)$$

όπου:

N_0 - η φασματική πυκνότητα ισχύος του θορύβου στην είσοδο του δέκτη της πλατφόρμας σε $Watt / Hz$

B_N - το ισοδύναμο εύρος ζώνης θορύβου του δορυφορικού δέκτη σε Hz

Η φασματική πυκνότητα ισχύος του θορύβου είναι ανάλογη της ισοδύναμης θερμοκρασίας θορύβου του δέκτη, όπως φαίνεται στην ακόλουθη σχέση:

$$N_0 = k \cdot T_{\Sigma} \quad (Watt / Hz) \quad (4.17)$$

όπου:

k - η σταθερά Boltzman ίση με $1,3806 \cdot 10^{-23} \frac{Watt}{^{\circ}K \cdot Hz}$

T_{Σ} - η ισοδύναμη θερμοκρασία θορύβου του δορυφορικού δέκτη ίση με

$T_{A,HAP} + T_{\Sigma,\DeltaΕΚΤΗ}$, με $T_{\Sigma,\DeltaΕΚΤΗ}$ την ισοδύναμη θερμοκρασία θορύβου της αλυσίδας του δέκτη χωρίς την κεραία λήψης

Έχοντας υπολογίσει την ισχύ του σήματος, αλλά και του θορύβου στην είσοδο του δορυφορικού δέκτη από τις σχέσεις (4.15) και (4.16), μπορούμε να υπολογίσουμε το σηματοθορυβικό λόγο για το άνω τμήμα της ζεύξης.

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{up} = \frac{eirp_{up} \cdot g_{r,hap}}{l_{up,tot} \cdot l_{rx,hap} \cdot k \cdot T_{\Sigma} \cdot B_N} \quad (4.18.a)$$

ή

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{UP} = EIRP_{UP} + \left(\frac{G}{T}\right)_{HAP} - L_{UP,TOT} - L_{RX,HAP} - 10\log(k) - 10\log(B_N) \quad (dB) \quad (4.18.β)$$

Η τιμή του συγκεκριμένου σηματοθορυβικού λόγου πρέπει να υπερβαίνει την ελάχιστη τιμή κατωφλίου του δέκτη, έτσι ώστε να είναι εφικτή η επικοινωνία. Η τιμή αυτή του κατωφλίου προκύπτει με βάση τη σχήμα διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται, την κωδικοποίηση και το μέγιστη ανεκτή πιθανότητα λαθών, BEP , για το τμήμα της άνω ζεύξης. Σημειώνεται, ότι ο λόγος $\left(\frac{G}{T}\right)_{SAT}$ χαρακτηρίζει το δέκτη και συνήθως αναφέρεται σαν δείκτης ποιότητας.

Αντίστοιχα, με τη βοήθεια της σχέσης (4.18) προκύπτει και η τιμή του λόγου της ισχύος του σήματος πληροφορίας προς τη φασματική πυκνότητα ισχύος του θορύβου για το τμήμα της άνω ζεύξης:

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_{up} = \left(\frac{C}{N}\right)_{up} \cdot B_N = \frac{eirp_{up} \cdot g_{r,hap}}{l_{up,tot} \cdot l_{rx,hap} \cdot k \cdot T_{\Sigma}} \quad (Hz) \quad (4.19.a)$$

ή

$$\begin{aligned} \left(\frac{C}{N_0}\right)_{UP} &= \left(\frac{C}{N}\right)_{UP} + 10 \log(B_N) = \\ &= EIRP_{UP} + \left(\frac{G}{T}\right)_{HAP} - L_{UP,TOT} - L_{Rx,HAP} - 10 \log(k) \quad (dBHz) \quad (4.19.b) \end{aligned}$$

Επίσης, εκτός του σηματοθορυβικού λόγου, στα ψηφιακά συστήματα η ικανότητα του δέκτη να αποκωδικοποιεί σωστά την πληροφορία που λαμβάνει, περιγράφεται από το λόγο ενέργειας συμβόλου προς τη φασματική πυκνότητα ισχύος του θορύβου και προκύπτει από τη σχέση:

$$\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{up} = \left(\frac{C}{N}\right)_{up} \cdot \left(\frac{B_N}{R_{up}}\right) = \left(\frac{C}{N_0}\right)_{up} \cdot \left(\frac{1}{R_{up}}\right) \quad (4.20.a)$$

ή

$$\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{UP} = \left(\frac{C}{N}\right)_{UP} + 10 \log B_N - 10 \log R_{UP} = \left(\frac{C}{N_0}\right)_{UP} - 10 \log R_{UP} \quad (dB) \quad (4.20.b)$$

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται συνοπτικά τα σημαντικότερα τηλεπικοινωνιακά χαρακτηριστικά του δέκτη της πλατφόρμας για το υπό μελέτη σύστημα, τα οποία προκύπτουν από τις παραμέτρους που μόλις περιγράφηκαν:

ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ – ΔΕΚΤΗΣ				
Παράμετρος	Σύμβολο	Τιμή		
		UAC	SAC	RAC
Μέγιστο Κέρδος Κεραίας	$G_{Rx,HAP,man}$	30	30	41
Απώλειες Τροφοδοσίας	$L_{Rx,HAP}$	0,5 dB		
Ισοδύναμη Θερμοκρασία Θορύβου Δέκτη	T_{Σ}	500 ^o K		
Σταθερά Boltzmann (dB(W/K))		-228.6		
Ισοδύναμο Εύρος Ζώνης Θορύβου (MHz)	B_N	2.048		
Δείκτης Ποιότητας (dB(K ⁻¹))	$\left(\frac{G}{T}\right)_{HAP}$	3.01	3.01	14.01
Σηματοθορυβικός Λόγος στην είσοδο του Δέκτη	$\left(\frac{C}{N}\right)_{UP}$	9.349	13.28	12.184
Λόγος Ισχύος Σήματος Πληροφορίας προς Φασματική Πυκνότητα Ισχύος Θορύβου	$\left(\frac{C}{N_0}\right)_{UP}$	72.463	76.39	75.294
Λόγος Ενέργειας Συμβόλου προς Φασματική Πυκνότητα Ισχύος Θορύβου	$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{UP}$	9.349	13.28	12.184

Πίνακας 4.3 Τηλεπικοινωνιακά χαρακτηριστικά δέκτη πλατφόρμας

Μετά τη λήψη του, το σήμα καθαρίζεται από το θόρυβο και υφίσταται μετατροπή συχνότητας από τα 48.05GHz η οποία είναι η κεντρική συχνότητα της ζώνης συχνοτήτων που αντιστοιχούν στην άνω ζεύξη στα 47.35 GHz της κάτω ζεύξης. Στη συνέχεια, το σήμα ενισχύεται και επανεκπέμπεται από την κεραία του αναμεταδότη της πλατφόρμας με ονομαστική τιμή εξόδου $p_{t,hap}$ (Watt). Έτσι λοιπόν η ενεργός ιστροπικά ακτινοβολούμενη ισχύς του σήματος κάτω ζεύξης, είναι ίση με:

$$eirp_{down} = p_{t,hap} \cdot g_{tx,hap,max} = \frac{p_{tx,hap} \cdot g_{tx,hap,max}}{l_{tx,hap}} \quad (Watt) \quad (4.21.a)$$

ή

$$EIRP_{DOWN} = P_{Tx,HAP} + G_{Tx,HAP,max} - L_{Tx,HAP} \quad (dBW) \quad (4.21.β)$$

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται συνοπτικά τα σημαντικότερα τηλεπικοινωνιακά χαρακτηριστικά του πομπού της πλατφόρμας του υπό μελέτη συστήματος:

ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ – ΠΟΜΠΟΣ				
Παράμετρος	Σύμβολο	Τιμή		
Μέγιστο Κέρδος	$G_{Tx,HAP,max}$	30	30	41
Ισχύς Τροφοδοσίας Κεραίας	$P_{Tx,HAP}$	1.3	1.3	3.5
Απώλειες Τροφοδοσίας	$L_{Tx,HAP}$	0.5		
Ενεργός Ισοτροπικά Αντινοβολ. Ισχύς	$EIRP_{DOWN}$	30.8	30.8	44

Πίνακας 4.4 Στοιχεία πομπού πλατφόρμας

4.5 Κάτω ζεύξη (downlink)

Μετά την εκπομπή του από τον δορυφορικό αναμεταδότη, το σήμα κάτω ζεύξης, με συχνότητα $47.35GHz$, υφίσταται εξασθένιση που οφείλεται σε παράγοντες, αντίστοιχους με εκείνους που αναλύθηκαν στο τμήμα της άνω ζεύξης. Έτσι, οι συνολικές απώλειες είναι το άθροισμα των μη μηδενικών απωλειών εκφρασμένων σε dB .

$$L_{DOWN,TOT} = \sum L_{DOWN} = L_{DOWN} + L_{DOWN,atm} + L_{DOWN,rain} + L_{DOWN,DEPOL} \quad (dB) \quad (4.22)$$

Συνοπτικά, για την κάτω ζεύξη του υπό μελέτη συστήματος, θεωρούμε ότι:

ΚΑΤΩ ΖΕΥΞΗ (DOWNLINK)				
Είδος Απωλειών	Σύμβολο	Τιμή (dB)		
Ελευθέρου Χώρου	$L_{DOWN,FS}$	158.2645	163.8342	172.0306
Ατμοσφαιρικές	$L_{DOWN,FS}$	2.3	5.2	6.3
Ατμοσφαιρικών Κατακρημνίσεων	$L_{DOWN,RAIN}$	11.2	14.8	20.2
Αποπόλωσης	$L_{DOWN,DEPOL}$	0.5		
Συνολικές	$L_{DOWN,TOT}$	172.2645	184.3342	199.0306

Πίνακας 4.5 Σύνοψη απωλειών κάτω ζεύξης

4.6 Επίγειος σταθμός - Δέκτης

Ο επίγειος σταθμός λαμβάνει με τη βοήθεια κατευθυντικής κεραίας, απολαβής $g_{rx,max}$ ή $G_{Rx,max}$ (dBi) κατά τη διεύθυνση μέγιστης ακτινοβολίας, το σήμα της κάτω ζεύξης. Αυτό οδηγείται στο δέκτη με απώλεια τροφοδοσίας l_{rx} ή L_{Rx} (dB). Έτσι, τελικά η λαμβανόμενη ισχύς από τη βαθμίδα του δέκτη είναι:

$$p_{rx} = \frac{eirp_{down} \cdot g_{rx,max}}{l_{down,tot} \cdot l_{rx}} \quad (Watt) \quad (4.23.α)$$

ή

$$P_{Rx} = EIRP_{DOWN} + G_{Rx,max} - L_{DOWN,TOT} - L_{Rx} \quad (dBW) \quad (4.23.β)$$

Εκτός του σήματος πληροφορίας, η κεραία του επίγειου δέκτη, που χαρακτηρίζεται από θερμοκρασία θορύβου T_A , λαμβάνει και ισχύ θορύβου. Στην είσοδο του δέκτη η ισχύς του θορύβου είναι ίση με:

$$N_{DOWN} = N_0 \cdot B_N \quad (Watt) \quad (4.24)$$

όπου:

N_0 - η φασματική πυκνότητα ισχύος του θορύβου στην είσοδο του επίγειου δέκτη σε $Watt / Hz$

B_N - το ισοδύναμο εύρος ζώνης θορύβου του επίγειου δέκτη σε Hz

Η φασματική πυκνότητα ισχύος του θορύβου υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$N_0 = k \cdot T_{\Sigma} \quad (\text{Watt/Hz}) \quad (4.25)$$

όπου:

$$k \quad - \text{η σταθερά Boltzman ίση με } 1,3806 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Watt}}{^\circ\text{K} \cdot \text{Hz}}$$

T_{Σ} - η ισοδύναμη θερμοκρασία θορύβου του επίγειου δέκτη ίση με $T_A + T_{\Sigma, \Delta\text{EKTH}}$, με $T_{\Sigma, \Delta\text{EKTH}}$ την ισοδύναμη θερμοκρασία θορύβου της αλυσίδας του επίγειου δέκτη χωρίς την κεραία λήψης.

Γνωρίζοντας την ισχύ του σήματος λήψης, αλλά και του θορύβου στην είσοδο του επίγειου δέκτη, μπορούμε να υπολογίσουμε το σηματοθορυβικό λόγο για το κάτω τμήμα της ζεύξης.

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{\text{down}} = \frac{\text{eirp}_{\text{down}} \cdot g_{\text{rx,max}}}{l_{\text{down,tot}} \cdot l_{\text{rx}} \cdot k \cdot T_{\Sigma} \cdot B_N} \quad (4.26.\alpha)$$

ή

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{\text{DOWN}} = \text{EIRP}_{\text{DOWN}} + \left(\frac{G}{T}\right)_{\text{Rx}} - L_{\text{DOWN,TOT}} - L_{\text{Rx}} - 10\log(k) - 10\log(B_N) \quad (\text{dB}) \quad (4.26.\beta)$$

Η τιμή του συγκεκριμένου σηματοθορυβικού λόγου πρέπει να υπερβαίνει την ελάχιστη τιμή κατωφλίου του επίγειου δέκτη, έτσι ώστε να είναι εφικτή η επικοινωνία. Η τιμή αυτή του κατωφλίου προκύπτει με βάση τη σχήμα διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται, την κωδικοποίηση και το μέγιστη ανεκτή πιθανότητα λαθών, *BEP*, για το τμήμα της κάτω ζεύξης.

Αντίστοιχα, με τη βοήθεια της σχέσης (4.26) προκύπτει και η τιμή του λόγου της ισχύος του σήματος πληροφορίας προς τη φασματική πυκνότητα ισχύος του θορύβου για το τμήμα της κάτω ζεύξης:

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_{\text{down}} = \left(\frac{C}{N}\right)_{\text{down}} \cdot B_N = \frac{\text{eirp}_{\text{down}} \cdot g_{\text{rx,max}}}{l_{\text{down,tot}} \cdot l_{\text{rx}} \cdot k \cdot T_{\Sigma}} \quad (\text{Hz}) \quad (4.27.\alpha)$$

ή

$$\begin{aligned} \left(\frac{C}{N_0}\right)_{\text{DOWN}} &= \left(\frac{C}{N}\right)_{\text{DOWN}} + 10\log(B_N) = \\ &= \text{EIRP}_{\text{DOWN}} + \left(\frac{G}{T}\right)_{\text{Rx}} - L_{\text{DOWN,TOT}} - L_{\text{Rx}} - 10\log(k) \quad (\text{dBHz}) \quad (4.27.\beta) \end{aligned}$$

Τέλος, υπολογίζεται και η τιμή του λόγου ενέργειας συμβόλου προς τη φασματική πυκνότητα ισχύος του θορύβου στη είσοδο του επίγειου δέκτη από τη σχέση:

$$\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{down} = \left(\frac{C}{N}\right)_{down} \cdot \left(\frac{B_N}{R_{down}}\right) = \left(\frac{C}{N_0}\right)_{down} \cdot \left(\frac{1}{R_{down}}\right) \quad (4.28.a)$$

ή

$$\begin{aligned} \left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{DOWN} &= \left(\frac{C}{N}\right)_{DOWN} + 10 \log B_N - 10 \log R_{DOWN} = \\ &= \left(\frac{C}{N_0}\right)_{DOWN} - 10 \log R_{DOWN} \quad (dB) \quad (4.28.β) \end{aligned}$$

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται συνοπτικά τα σημαντικότερα τηλεπικοινωνιακά χαρακτηριστικά του δέκτη του επίγειου σταθμού για το υπό μελέτη σύστημα, τα οποία προκύπτουν από τις παραμέτρους που μόλις περιγράφηκαν για δύο διαφορετικές τιμές του ρυθμού μετάδοσης (10 Mbps και 2.048 Mbps):

ΕΠΙΓΕΙΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ - ΔΕΚΤΗΣ				
Παράμετρος	Σύμβολο	Τιμή		
Μέγιστο Κέρδος Κεραίας	$G_{Rx,max}$	23	38	38
Απώλειες Τροφοδοσίας	L_{Rx}	0.5		
Ισοδύναμη Θερμοκρασία Θορύβου Δέκτη	T_{Σ}	900 ^o K		
Σταθερά Boltzmann (dB(W/K))		-228.6		
Ρυθμός μετάδοσης	R_{down}	10 Mbps		
Δείκτης Ποιότητας	$\left(\frac{G}{T}\right)_{Rx}$	-6.54	8.46	8.46
Σηματοθορυβικός Λόγος στην είσοδο του Δέκτη	$\left(\frac{C}{N}\right)_{DOWN}$	7.59	0.52	9.03
Λόγος Ισχύος Σήματος Πληροφορίας προς Φασματική Πυκνότητα Ισχύος Θορύβου	$\left(\frac{C}{N_0}\right)_{DOWN}$	77.59	0.52	9.03
Λόγος Ενέργειας Συμβόλου προς Φασματική Πυκνότητα Ισχύος Θορύβου	$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{DOWN}$	7.59	0.52	9.03

Πίνακας 4.6 Τηλεπικοινωνιακά χαρακτηριστικά επίγειου δέκτη (10 Mbps)

ΕΠΙΓΕΙΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ - ΔΕΚΤΗΣ				
Παράμετρος	Σύμβολο	Τιμή		
Μέγιστο Κέρδος Κεραίας	$G_{Rx,max}$	23	38	38
Απώλειες Τροφοδοσίας	L_{Rx}	0.5		
Ισοδύναμη Θερμοκρασία Θορύβου Δέκτη	$T_{IΣ}$	900 ^o K		
Σταθερά Boltzmann (dB(W/K))		-228.6		
Ρυθμός μετάδοσης	R_{down}	2.048 Mbps		
Δείκτης Ποιότητας	$\left(\frac{G}{T}\right)_{Rx}$	3.01	3.01	14.01
Σηματοθορυβικός Λόγος στην είσοδο του Δέκτη	$\left(\frac{C}{N}\right)_{DOWN}$	9.349	13.28	2.184
Λόγος Ισχύος Σήματος Πληροφορίας προς Φασματική Πυκνότητα Ισχύος Θορύβου	$\left(\frac{C}{N_0}\right)_{DOWN}$	72.463	76.39	75.294
Λόγος Ενέργειας Συμβόλου προς Φασματική Πυκνότητα Ισχύος Θορύβου	$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{DOWN}$	9.349	13.28	12.184

Πίνακας 4.7 Τηλεπικοινωνιακά χαρακτηριστικά επίγειου δέκτη (2.048 Mbps)

Βιβλιογραφία 4^{ου} κεφαλαίου

- [1] ITU-R RECOMMENDATION F.1500, *Preferred characteristics of systems in the fixed service using high altitude platforms operating in the bands 47.2-47.5 GHz and 47.9-48.2 GHz*
- [2] *Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες*, Φ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ, Χ ΚΑΨΑΛΗΣ & Π. ΚΩΤΤΗΣ, Εκδόσεις ΠΑΠΑΣΩΤΗΡΙΟΥ, ΑΘΗΝΑ
- [3] *Δορυφορικές Τηλεπικοινωνίες*, Χ ΚΑΨΑΛΗΣ & Π. ΚΩΤΤΗΣ, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2003
- [4] *Διάδοση Ηλεκτρομαγνητικών Κυμάτων σε Γήινο Περιβάλλον*, Ι.Δ. ΚΑΝΕΛΛΟΠΟΥΛΟΣ, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2003
- [5] *Συστήματα Επικοινωνίας*, SIMON HAYKIN, Εκδόσεις ΠΑΠΑΣΩΤΗΡΙΟΥ, ΑΘΗΝΑ, 1995
- [6] *Δορυφορικές Επικοινωνίες: Συστήματα, Τεχνικές και Τεχνολογία*, G. MARAL – M. BOUSQUET, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2000

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ VISUALYSE

5.1 Εισαγωγή

Το VISUALYSE είναι ένα πολύ ισχυρό πρόγραμμα της Transfinite Systems, με το οποίο είναι δυνατό να μοντελοποιηθούν συστήματα ραδιοεπικοινωνιών και να εκτελεστούν προσομοιώσεις της λειτουργίας τους. Επιπλέον, το λογισμικό αυτό επιτρέπει τη μελέτη και ποσοτική ανάλυση των πιθανών παρεμβολών ανάμεσα στα συστήματα αυτά.

Κύριο χαρακτηριστικό του προγράμματος VISUALYSE είναι το γραφικό του περιβάλλον και η δυνατότητα που παρέχει στο χρήστη να έχει εποπτική αντίληψη των διάφορων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, μέσω των εικόνων και των “animation” που το πρόγραμμα προσφέρει.

Το VISUALYSE δεν περιορίζεται στα δορυφορικά συστήματα μόνο, αλλά μπορεί να μοντελοποιήσει με ακρίβεια τις επικοινωνίες και μέσω επίγειων ζεύξεων, σε δυναμικά τηλεπικοινωνιακά συστήματα και γενικά σε οποιοδήποτε σύστημα επικοινωνιών.

Οι προσομοιώσεις που μπορούν να πραγματοποιηθούν ποικίλλουν από ένα απλό έως ένα αρκετά πολύπλοκο σενάριο, αφού το πρόγραμμα επιτρέπει στο χρήστη να εισάγει όλες τις παραμέτρους που απαιτούνται προκειμένου να μοντελοποιηθεί ακόμη και η πιο σύνθετη ζεύξη.

Συγκεκριμένα, είναι δυνατό να δημιουργηθούν σταθμοί επίγειοι, ακίνητοι και κινητοί, των οποίων τη θέση και κίνηση μπορεί να καθορίσει ο χρήστης, σταθμοί δορυφορικοί, γεωστατικής αλλά και χαμηλής τροχιάς, καθώς και τηλεπικοινωνιακές πλατφόρμες της ατμόσφαιρας. Επίσης, ο χρήστης ορίζει τα διαγράμματα ακτινοβολίας για τις κεραίες εκπομπής και λήψης των κεραιών των διάφορων σταθμών, τα χαρακτηριστικά των φερόντων κυμάτων και τα μοντέλα διάδοσης των σημάτων από κάθε πομπό προς τον εκάστοτε δέκτη.

Η σημαντικότερη λειτουργία του VISUALYSE είναι η μελέτη των πιθανών παρεμβολών ανάμεσα στα διάφορα τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Η δομή του λογισμικού είναι τέτοια, ώστε κάθε τηλεπικοινωνιακή ζεύξη ανάμεσα σε δύο ή περισσότερους σταθμούς να μπορεί να θεωρηθεί είτε ως επιθυμητή είτε ως ζεύξη παρεμβολής. Με τη βοήθεια των εργαλείων που παρέχονται από το πρόγραμμα είναι δυνατός ο υπολογισμός πολλών σημαντικών μεγεθών κατά τη διάρκεια των προσομοιώσεων αλλά και η στατιστική ανάλυση όλων των μεγεθών που μεταβάλλονται κατά την προσομοίωση. Επίσης, είναι δυνατή η χάραξη γραφικών παραστάσεων, που δίνουν μία περισσότερο σαφή εικόνα του τρόπου με τον οποίο κάποια μεγέθη μεταβάλλονται στο χρόνο ή εξαρτώνται το ένα από το άλλο.

Όπως εύκολα μπορεί να γίνει αντιληπτό, η πλήρης περιγραφή των δυνατοτήτων που παρέχει το λογισμικό VISUALYSE είναι πέρα από τους σκοπούς της παρούσας ενότητας. Έτσι, στις επόμενες παραγράφους βρίσκεται μία συνοπτική

παρουσίαση του VISUALYSE καθώς και των βημάτων που ακολουθήθηκαν προκειμένου να κατασκευαστούν τα διάφορα σενάρια της προσομοίωσης για τη μελέτη των παρεμβολών από και προς το υπό εξέταση σύστημα επικοινωνίας.

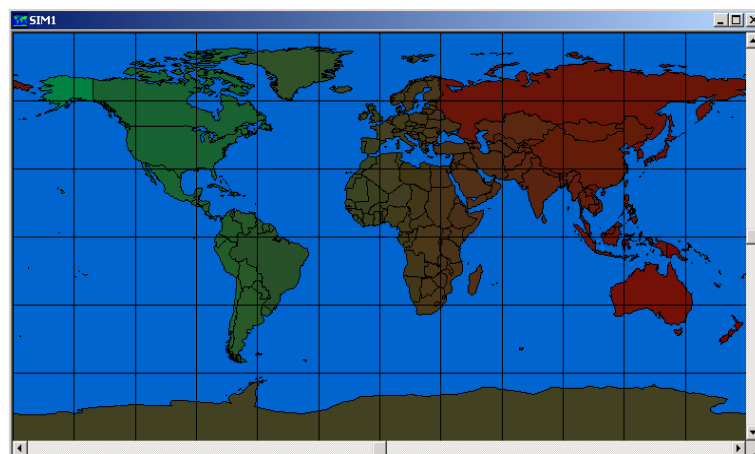
5.2 Έναρξη του προγράμματος

Όταν εκκινήσουμε το Visualyse, η πρώτη οθόνη που εμφανίζεται δείχνει απλά μια καρτεσιανή προβολή του χάρτη της Γης. Εκτός από την δισδιάστατη μορφή με την οποία μπορεί να απεικονιστεί ο χάρτης της Γης, το πρόγραμμα υποστηρίζει και τρισδιάστατη απεικόνιση. Αυτό γίνεται με της εξής εντολές,

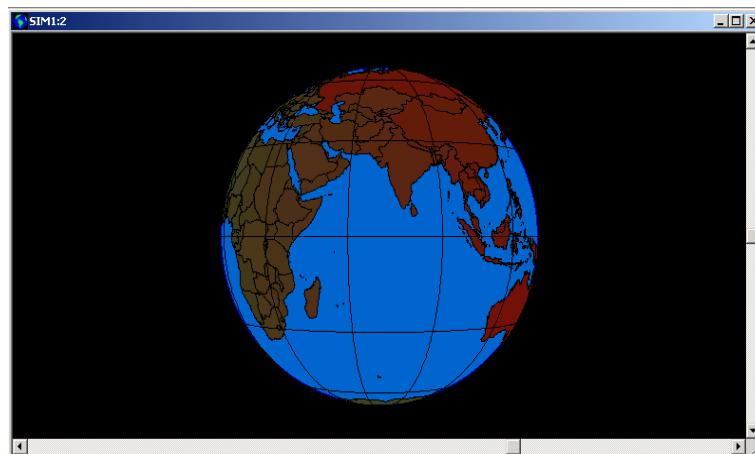
Windows -> New Window -> 3-D

Αν θέλουμε να γυρίσουμε πάλι σε δισδιάστατη απεικόνιση, τότε ακολουθούμε την εξής διαδικασία,

Windows -> New Window -> Map



Σχήμα 5.1 Δισδιάστατη απεικόνιση της Γης



Σχήμα 5.2 Τρισδιάστατη απεικόνιση της Γης

Από αυτές τις δύο απεικονίσεις της Γης δεν μπορούμε να κάνουμε και πολλά πράγματα, εκτός από το να επαληθεύουμε τις θέσεις των σταθμών που δημιουργούμε. Υπάρχει η δυνατότητα να εστιάσουμε σε κάποια περιοχή της Γης με δύο τρόπους. Ο ένας είναι πατώντας το κουμπί με “+”, ενώ αντίθετα αν θέλουμε να απεικονίσουμε μια ευρύτερη περιοχή πατάμε το κουμπί με το “-”.



Ο άλλος τρόπος για να εστιάσουμε σε κάποια περιοχή του χάρτη είναι πατώντας το παρακάτω κουμπί και τοποθετώντας το ποντίκι στην περιοχή που μας ενδιαφέρει. Στην συνέχεια, κρατώντας το αριστερό πλήκτρο του ποντικιού πατημένο, σύρουμε το ποντίκι καθορίζοντας την επιθυμητή περιοχή της Γης στην οποία θέλουμε να εστιάσουμε.



Έχοντας καθορίσει την περιοχή που θέλουμε να απεικονίσουμε, πατώντας το πλήκτρο που φαίνεται αμέσως να επιστρέψουμε τον δείκτη του ποντικιού στην αρχική του μορφή.



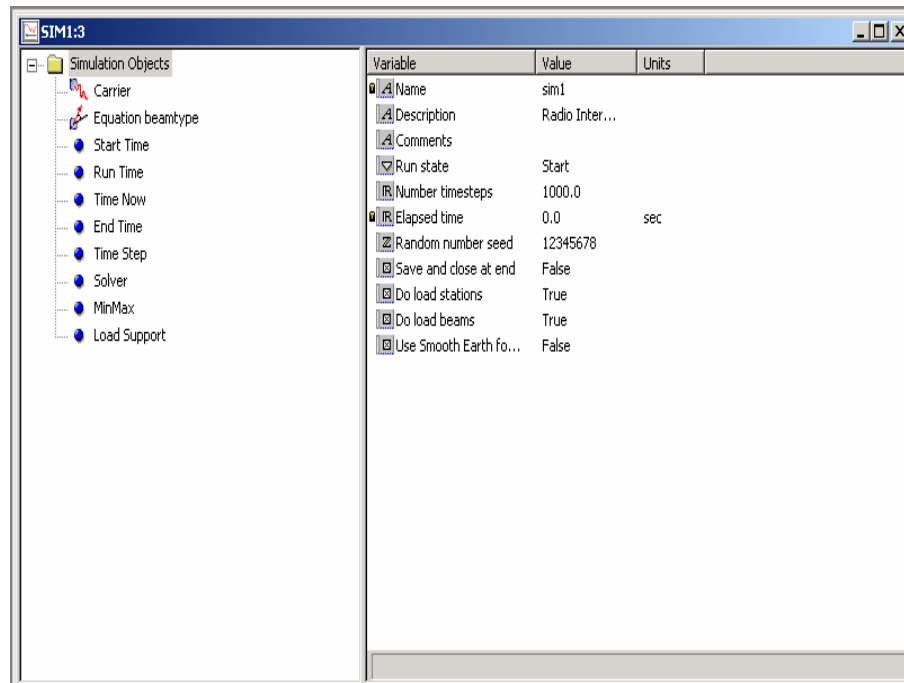
5.3 Object Explorer

Το μενού στο οποίο μπορούμε να δημιουργήσουμε τις βασικές τηλεπικοινωνιακές οντότητες μιας προσομοίωσης είναι ο Object Explorer. Για να εμφανίσουμε τον Object Explorer ακολουθούμε τα εξής βήματα,

Windows -> New Window -> Object Explorer

Από το μενού του Object Explorer μπορούμε να δημιουργήσουμε όλα εκείνα τα τηλεπικοινωνιακά στοιχεία, τα οποία θα χρησιμοποιήσουμε για την μελέτη μας. Από το μενού αυτό μπορούμε να δημιουργήσουμε τα διαγράμματα ακτινοβολίας των κεραιών, τα φέροντα κύματα, τον τύπο της διαμόρφωσης, τους τηλεπικοινωνιακούς

σταθμούς, τις ζεύξεις που θα παρεμβάλλονται και εκείνες που θα παρεμβάλλουν, καθώς και πολλά άλλα στοιχεία τα οποία θα είναι χρήσιμα για την τηλεπικοινωνιακή μελέτη των διαφόρων συστημάτων.



Σχήμα 5.3 Το παράθυρο του Object Explorer

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται το παράθυρο του Object Explorer μενού. Το παράθυρο είναι χωρισμένο σε δύο μέρη, το αριστερό μέρος από όπου μπορούμε να δημιουργήσουμε όλα τα τηλεπικοινωνιακά στοιχεία και να καθορίσουμε τις παραμέτρους αυτών και το δεξί μέρος, όπου φαίνονται κάποιες βασικές πληροφορίες των στοιχείων του αριστερού μέρους.

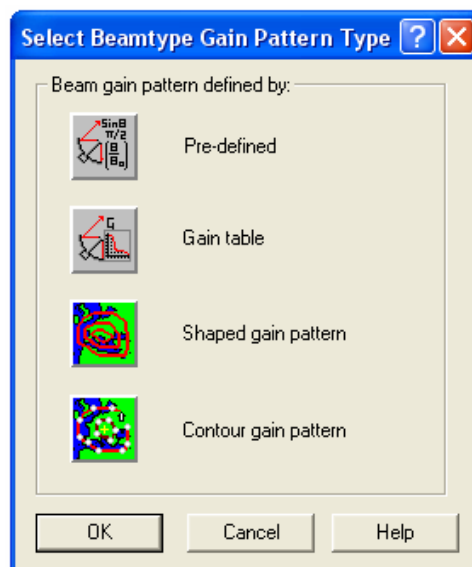
5.4 Τρόποι κατασκευής διαγραμμάτων ακτινοβολίας

Το λογισμικό επιτρέπει στο χρήστη μέσω της παραμέτρου Beam Types, να μοντελοποιήσει τα χαρακτηριστικά των λοβών ακτινοβολίας της δέσμης μίας κεραίας. Για την κατασκευή των διαγραμμάτων ακτινοβολίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας από τους παρακάτω τέσσερις τρόπους:

- Προκαθορισμένη Εξίσωση (Predefined equation) – Ο χρήστης παραμετροποιεί τη μορφή του διαγράμματος ακτινοβολίας με χρήση κάποιων συστάσεων της ITU (ITU recommendation patterns) και με καθορισμό χαρακτηριστικών του διαγράμματος και της κεραίας, όπως η γωνία ημίσειας ισχύος, το κέρδος στη διεύθυνση μέγιστου, η απόδοση της κεραίας και η διάμετρός της.

- Πίνακας Απολαβής (Gain table) – Ο χρήστης μπορεί να καθορίσει τη γωνία ημίσεως ισχύος και να εισάγει σε έναν πίνακα τιμές του κέρδους σε διάφορες γωνίες.
- Σχηματοποίηση Διαγράμματος (Shaped) – Ο ορισμός της απολαβής της κεραίας πραγματοποιείται για διάφορες τιμές της γωνίας ανύψωσης και του αζιμουθίου. Η επιλογή αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν τα δεδομένα για το διάγραμμα ακτινοβολίας μίας κεραίας προέρχονται από μετρήσεις.
- Χρήση καμπύλων (Contour) – Αυτό το είδος διαγράμματος χρησιμοποιείται για να μοντελοποιήσει διαγράμματα ακτινοβολίας γεωστατικών δορυφόρων. Ορίζεται με σύνολα από καμπύλες και σημεία μέγιστης ακτινοβολίας

Το παράθυρο επιλογής με το οποίο ο χρήστης καθορίζει με ποιον από τους παραπάνω τρόπους θα δημιουργήσει το διάγραμμα ακτινοβολίας που επιθυμεί φαίνεται ακολούθως:



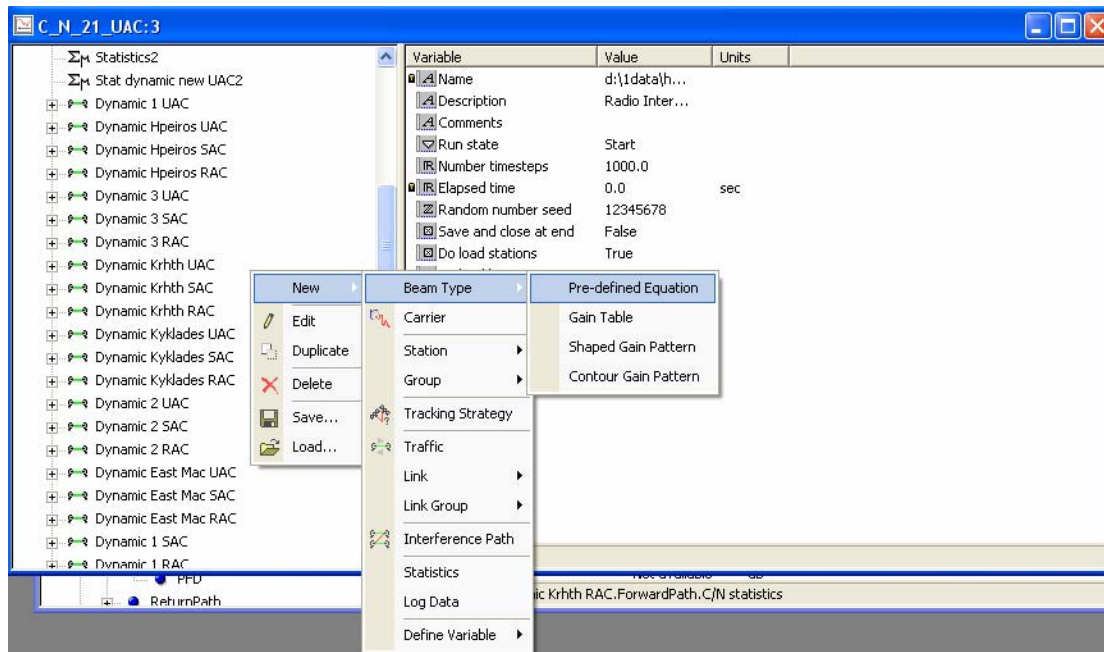
Σχήμα 5.4 Παράθυρο επιλογής διαγράμματος ακτινοβολίας

5.5 Δημιουργία των διαγραμμάτων ακτινοβολίας

Αρχικά θα δημιουργήσουμε τα διαγράμματα ακτινοβολίας του επίγειου τερματικού σταθμού (UT) και του σταθμού της πλατφόρμας, του στρατοσφαιρικού συστήματος. Για την στρατοσφαιρική πλατφόρμα και το τερματικό της αστικής ζώνης οι παράμετροι που θα χρησιμοποιήσουμε έχουν ληφθεί από την σύσταση ITU-R F.1500.

5.5.1 Διάγραμμα Ακτινοβολίας Επίγειου Τερματικού στην Αστική Ζώνη Κάλυψης

Τοποθετούμε τον δείκτη του ποντικιού στο αριστερό μέρος του Object Explorer και στην συνέχεια πατάμε το δεξί πλήκτρο του ποντικιού, ακολουθώντας τις επιλογές New -> Beam Type -> Pre-defined Equation, όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.5.



Σχήμα 5.5 Δημιουργία νέου διαγράμματος ακτινοβολίας

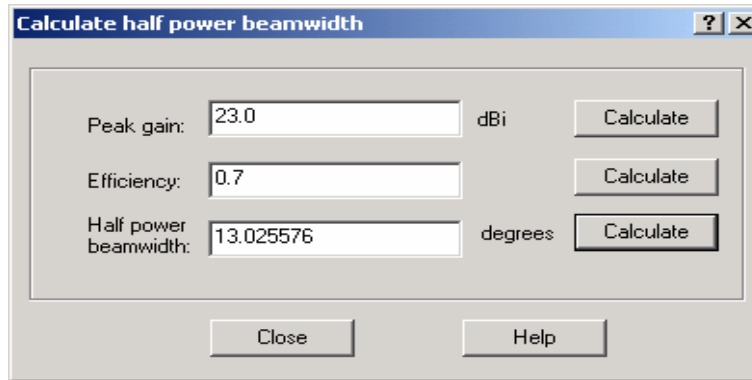
Στην συνέχεια πατάμε διπλό κλικ στο στοιχείο που δημιουργήσαμε, το οποίο έχει την ονομασία *Equation beamtype* και βρίσκεται στο αριστερό μέρος του Object Explorer, για να καθορίσουμε τις παραμέτρους του καινούργιου διαγράμματος ακτινοβολίας. Το μενού διαμόρφωσης του διαγράμματος ακτινοβολίας που εμφανίζεται φαίνεται στο σχήμα 5.6.

Σχήμα 5.6 Διάγραμμα ακτινοβολίας του επίγειου τερματικού

Στο πεδίο *Name* και *Description* βάζουμε ένα όνομα και μια σύντομη περιγραφή του διαγράμματος ακτινοβολίας που δημιουργήσαμε, όπως φαίνεται και στο σχήμα. Στο πεδίο *Gain pattern (rolloff)* επιλέγουμε την μορφή του διαγράμματος ακτινοβολίας που πρέπει να έχει το επίγειο τερματικό της αστικής περιοχής κάλυψης, από μια σειρά έτοιμων διαγραμμάτων ακτινοβολίας που προσφέρει το πρόγραμμα και τα οποία βασίζονται στις συστάσεις της ITU. Το διάγραμμα για το επίγειο τερματικό δίνεται από την σύσταση ITU-R F.699, επιλογή που κάνουμε στο παραπάνω σχήμα. Επίσης από την σύσταση της ITU-R F.1500, καθορίζουμε και το μέγιστο κέρδος του ανοίγματος του διαγράμματος ακτινοβολίας στο πεδίο *Peak gain (at boresight)*, το οποίο είναι ίσο με 23.0 dBi.

Στο πεδίο *Specify by* εισάγουμε τις κατάλληλες παραμέτρους με τις οποίες θα καθοριστεί πλήρως η μορφή του διαγράμματος ακτινοβολίας. Συγκεκριμένα επιλέγουμε το *Gmax+Theta 3dB*, έτσι ώστε η μορφή του διαγράμματος ακτινοβολίας να καθοριστεί από το κέρδος του μέγιστου λοβού ακτινοβολίας και από την γωνία ημίσεως ισχύος. Στο πεδίο *Pattern shape* καθορίζουμε το σχήμα του διαγράμματος ακτινοβολίας να είναι κυκλικό (circular), ενώ υπάρχει και η επιλογή για ελλειπτική μορφή (elliptical). Μας μένει μόνο να εισάγουμε την γωνία ημίσεως ισχύος (Theta 3dB).

Για να υπολογίσουμε την γωνία ημίσεως ισχύος χρησιμοποιούμε ένα από τα εργαλεία που παρέχει το Visualyse. Συγκεκριμένα στο μενού *Tools* επιλέγουμε το *Theta 3dB*...και εμφανίζεται το παρακάτω μενού.

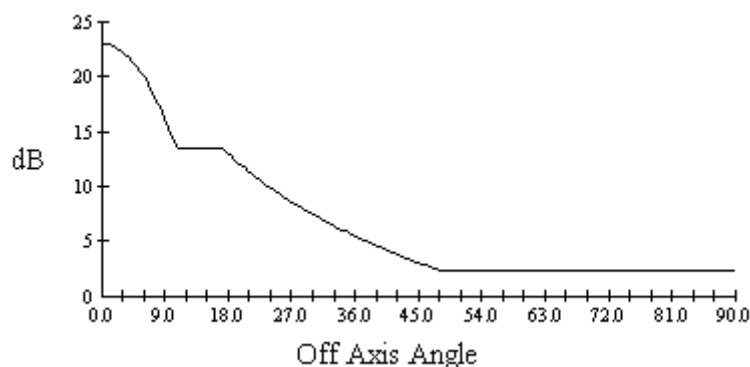


Σχήμα 5.7 Υπολογισμός της γωνίας ημίσεως ισχύος

Εισάγουμε το μέγιστο κέρδος του διαγράμματος (Peak gain) και την αποδοτικότητα (Efficiency), που συνήθως είναι μεταξύ 0.6 και 0.7 και πατώντας το πλήκτρο *Calculate*, μας επιστρέφεται η γωνία ημίσεως ισχύος, που είναι περίπου 13.02° . Την τιμή αυτήν τώρα την εισάγουμε στο πεδίο *Theta 3dB* του σχήματος 5.6.

Τέλος, στο πεδίο *Nominal operating parameters* μπορούμε να καθορίσουμε κάποιες αρχικές ονομαστικές τιμές για ορισμένες παραμέτρους του διαγράμματος ακτινοβολίας, όπως είναι η θερμοκρασία θορύβου της κεραίας του δέκτη, το μέγιστο και το ελάχιστο εκπεμπόμενο EIRP, καθώς και η προεπιλεγμένη συχνότητα και η πόλωση. Οι τιμές αυτές του πεδίου δεν είναι απόλυτες, καθώς μπορούν να μεταβληθούν στα επόμενα μενού.

Το συγκεκριμένο διάγραμμα ακτινοβολίας απεικονίζεται ακολούθως:



Διάγραμμα 5.1 Διάγραμμα ακτινοβολίας κεραίας επίγειου σταθμού για την άνω ζεύξη

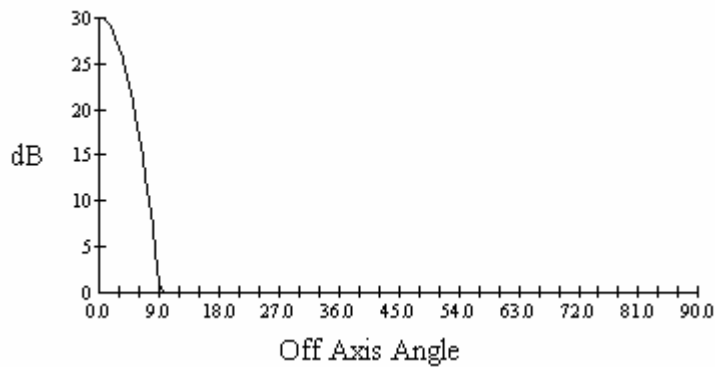
5.5.2 Διάγραμμα Ακτινοβολίας Στρατοσφαιρικής Πλατφόρμας

Για να δημιουργήσουμε το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας του σταθμού της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας θα ακολουθήσουμε παρόμοια διαδικασία με αυτήν που ακολουθήσαμε για να δημιουργήσουμε το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας του επίγειου τερματικού. Το διάγραμμα ακτινοβολίας της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας θα χρησιμοποιηθεί για την προς τα κάτω ζεύξη με το επίγειο τερματικό της αστικής ζώνης κάλυψης. Τα στοιχεία για το διάγραμμα ακτινοβολίας της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας έχουν εξαχθεί από την σύσταση ITU-R F.1500. Στο σχήμα 5.8 φαίνονται οι παράμετροι που χρησιμοποιήσαμε για τον καθορισμό του διαγράμματος ακτινοβολίας.

Σχήμα 5.8 Διάγραμμα ακτινοβολίας της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας

Το διάγραμμα ακτινοβολίας, σύμφωνα με την σύσταση της ITU-R F.1500, δίνεται από την σύσταση ITU-R S.672. Το μέγιστο κέρδος του διαγράμματος ακτινοβολίας, όταν η στρατοσφαιρική πλατφόρμα εκπέμπει προς το επίγειο τερματικό της αστικής ζώνης, είναι 30 dBi. Υπολογίζουμε εκ νέου την γωνία ημίσειας ισχύος, όπως κάναμε και για το διάγραμμα ακτινοβολίας του επίγειου τερματικού, η οποία είναι 5.8°. Η θερμοκρασία θορύβου της κεραίας της πλατφόρμας είναι 900 °K.

Το συγκεκριμένο διάγραμμα ακτινοβολίας απεικονίζεται ακολούθως:



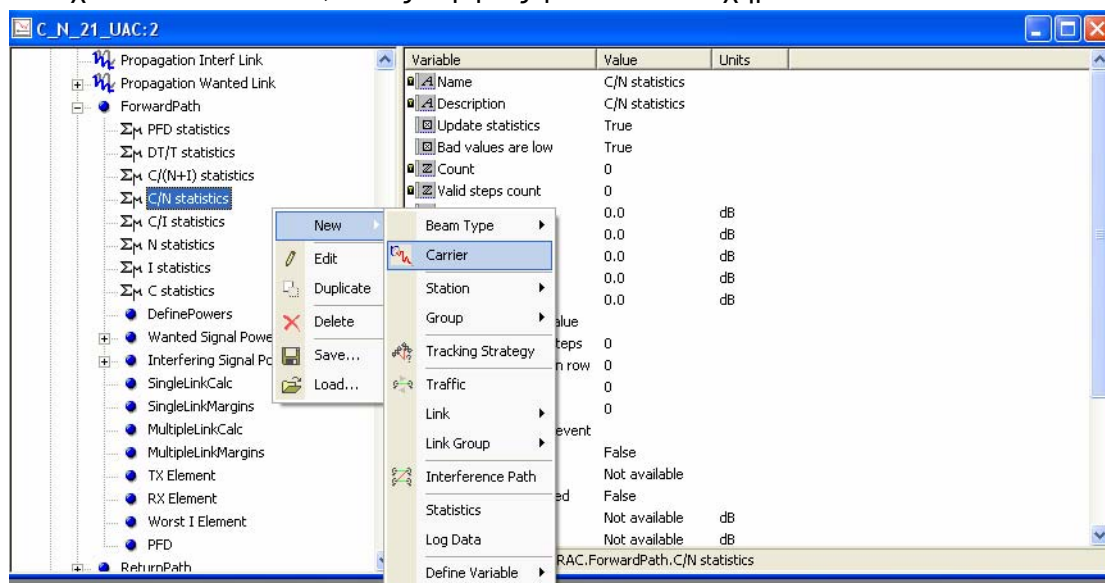
Διάγραμμα 5.2 Διάγραμμα ακτινοβολίας κεραίας πλατφόρμας για την άνω ζεύξη

5.6 Δημιουργία των φερόντων κυμάτων

Το επόμενο βήμα, μετά την δημιουργία των διαγραμμάτων ακτινοβολίας για τον κάθε σταθμό της προσομοίωσης, είναι να κατασκευάσουμε τα φέροντα κύματα, που θα χρησιμοποιηθούν για την ζεύξη της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας με το επίγειο τερματικό της αστικής περιοχής. Θα δημιουργήσουμε δύο φέροντα, ένα για την άνω ζεύξη και ένα για την προς τα κάτω ζεύξη του στρατοσφαιρικού συστήματος HAPS.

5.6.1 Δημιουργία Φέροντος για την Στρατοσφαιρική Ζεύξη

Για την δημιουργία του φέροντος πατάμε το δεξί πλήκτρο του ποντικιού, όπως κάναμε και για την δημιουργία των διαγραμμάτων ακτινοβολίας, και στην συνέχεια New -> Carrier, όπως ακριβώς φαίνεται στο σχήμα 5.9.



Σχήμα 5.9 Δημιουργία καινούργιου φέροντος κύματος

Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένα καινούργιο στοιχείο στον Object Explorer με την ονομασία *Carrier*. Στην συνέχεια για να διαμορφώσουμε το καινούργιο αυτό στοιχείο πατάμε διπλό κλικ πάνω σε αυτό, οπότε εμφανίζεται το μενού διαμόρφωσης για το φέρον κύμα.

Σχήμα 5.10 Δημιουργία φέροντος της προς τα κάτω στρατοσφαιρικής ζεύξης

Στο πεδίο *Name* και *Description* εισάγουμε ένα κατάλληλο όνομα και μια συνοπτική περιγραφή του φέροντος. Στο πεδίο *Carrier Type* καθορίζουμε αν το σήμα που θα διαδίδεται θα είναι ψηφιακό (digital) ή αναλογικό (analogue).

Στο πεδίο *Polarisation* μπορούμε να καθορίσουμε την πόλωση του φέροντος, μεταξύ τεσσάρων επιλογών, οριζόντιας πόλωσης (linear horizontal), κάθετης πόλωσης (linear vertical), δεξιόστροφης κυκλικής (right hand circular) και αριστερόστροφης κυκλικής πόλωσης (left hand circular). Επιλέγουμε την οριζόντια πόλωση. Στο πεδίο *Code, Access and Load* καθορίζουμε την μορφή της κωδικοποίησης για το σήμα του HAPS συστήματος, σύμφωνα πάντα με την σύσταση ITU-R F.1500, καθώς και την τεχνική πρόσβασης στο ασύρματο μέσο διάδοσης που θα χρησιμοποιεί, που είναι η FDMA για την προς τα κάτω ζεύξη.

Τέλος στο πεδίο *Bandwidth and data rate* εισάγουμε το ανατιθέμενο εύρος ζώνης της ζεύξης (allocated bandwidth), που είναι 11 MHz και υπάρχει και η δυνατότητα να εισάγουμε και το εύρος ζώνης που χρησιμοποιείται (occurred

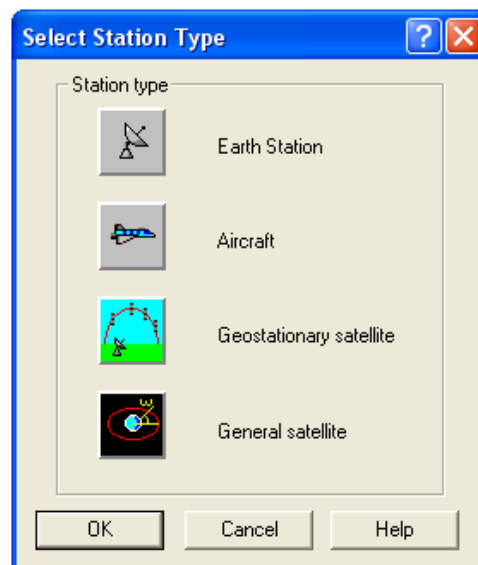
bandwidth). Για λόγους απλότητας και τα δύο εύρη ζωνών ταυτίζονται. Αυτές είναι και οι βασικότερες παράμετροι καθορισμού του φέροντος.

5.7 Κατασκευή τηλεπικοινωνιακού σταθμού

Το VISUALYSE επιτρέπει στο χρήστη να δημιουργήσει σταθμό που ανήκει σε μία από τις παρακάτω κατηγορίες:

- Επίγειοι Σταθμοί (Earth Stations)
- Τηλεπικοινωνιακή πλατφόρμα σε αεροσκάφος (Aircraft)
- Γεωστατικοί δορυφόροι (Geostationary Satellite)
- Γενικοί Δορυφόροι (General Satellite)

Το παράθυρο επιλογής με το οποίο ο χρήστης επιλέγει το είδος του τηλεπικοινωνιακού σταθμού που θα δημιουργηθεί φαίνεται παρακάτω:



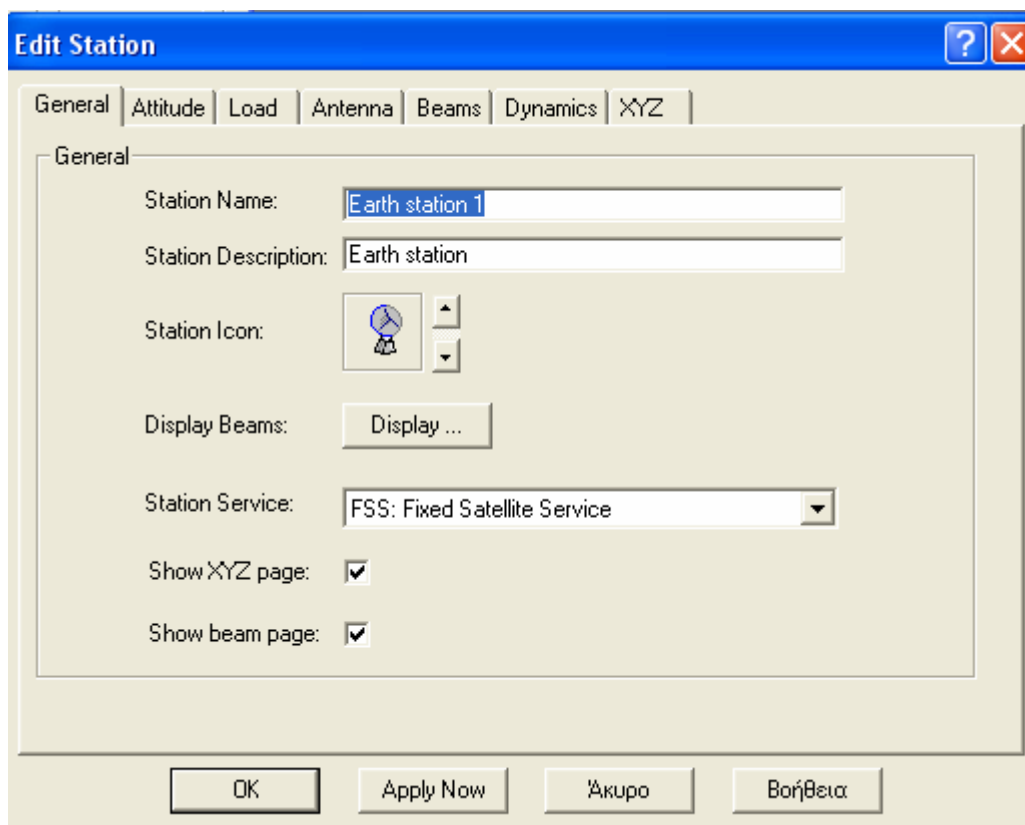
Σχήμα 5.11 Παράθυρο επιλογής τύπου τηλεπικοινωνιακού σταθμού

Επίσης, το VISUALYSE δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα εκτός από ένα σταθμό, να δημιουργήσει μία ομάδα σταθμών (Station Group), κάτι που καθιστά πιο εύκολο τον υπολογισμό της παρεμβολής, όταν αυτή προέρχεται από περισσότερους του ενός σταθμούς.

Στις επόμενες σελίδες φαίνεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε προκειμένου να κατασκευαστούν όλα τα είδη τηλεπικοινωνιακών σταθμών, που εμφανίζονται στα σενάρια των προσομοιώσεων της παρούσας μελέτης.

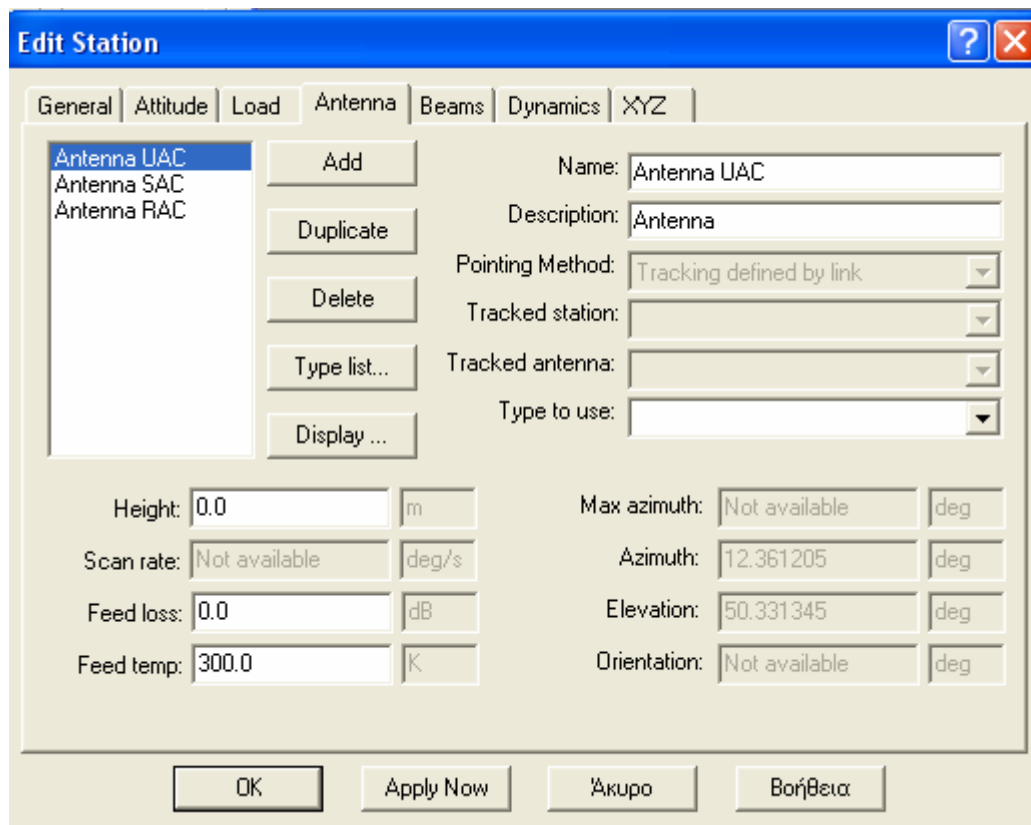
5.7.1 Κατασκευή επίγειου σταθμού

Αρχικά, για τις ανάγκες της προσομοίωσης δημιουργείται ο επίγειος σταθμός, που πρόκειται να κινείται στην περιοχή κάλυψης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας. Προφανώς το είδος του συγκεκριμένου σταθμού είναι τύπου “*Earth Station*”. Στα ακόλουθα σχήματα απεικονίζονται στιγμιότυπα με τα διάφορα παράθυρα εισαγωγής δεδομένων, που αφορούν το συγκεκριμένο επίγειο σταθμό.



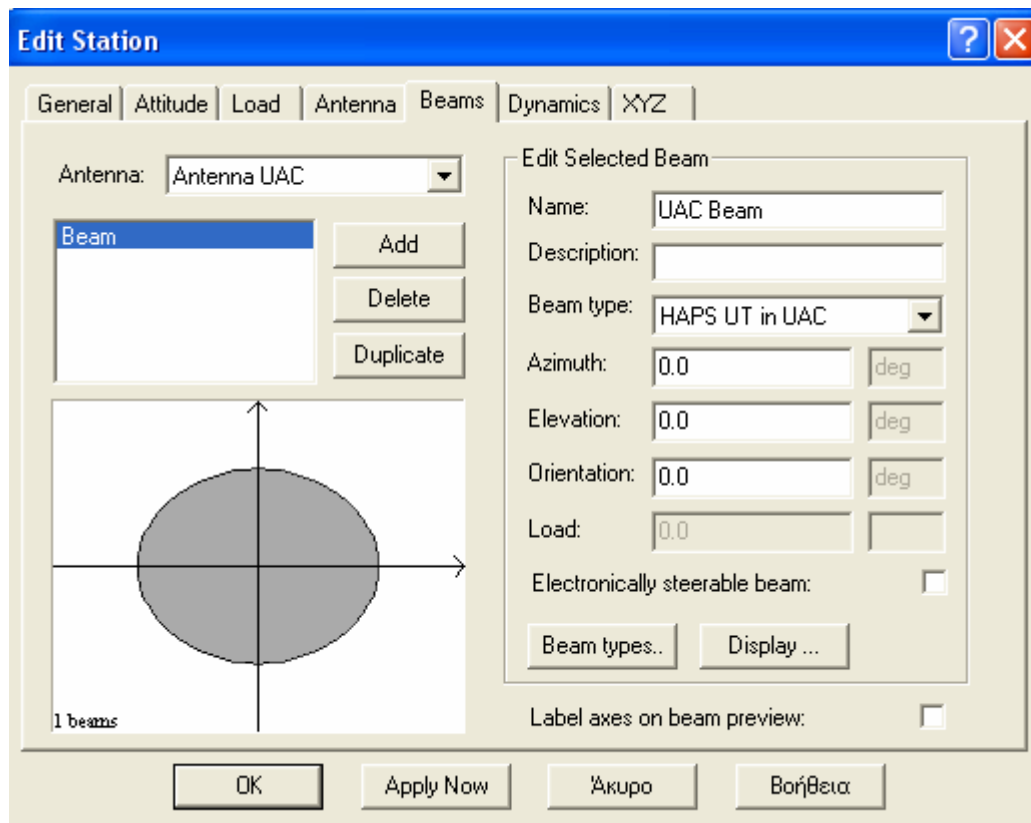
Σχήμα 5.12 Φύλλο General του Επίγειου Σταθμού

Στο πρώτο φύλλο, συμπληρώνονται κάποια γενικά στοιχεία για τον επίγειο σταθμό. Στο πεδίο “Station Name” εισάγεται το όνομα του επίγειου σταθμού, το οποίο είναι “*Earth station 1*”, ενώ στο ακόλουθο πεδίο “Station Description” εισάγεται μια περιγραφή για αυτόν. Ακολούθως, ορίζεται ένα ενδεικτικό εικονίδιο με το οποίο ο σταθμός θα απεικονίζεται στο χάρτη του VISUALYSE. Τέλος, στο πεδίο “Station Service” επιλέγεται το είδος της τηλεπικοινωνιακής υπηρεσίας, το οποίο θα εξυπηρετεί και αυτό είναι “*FSS: Fixed Satellite Service*”. Τα υπόλοιπα πεδία διατηρούν τις προκαθορισμένες (default) τιμές τους.



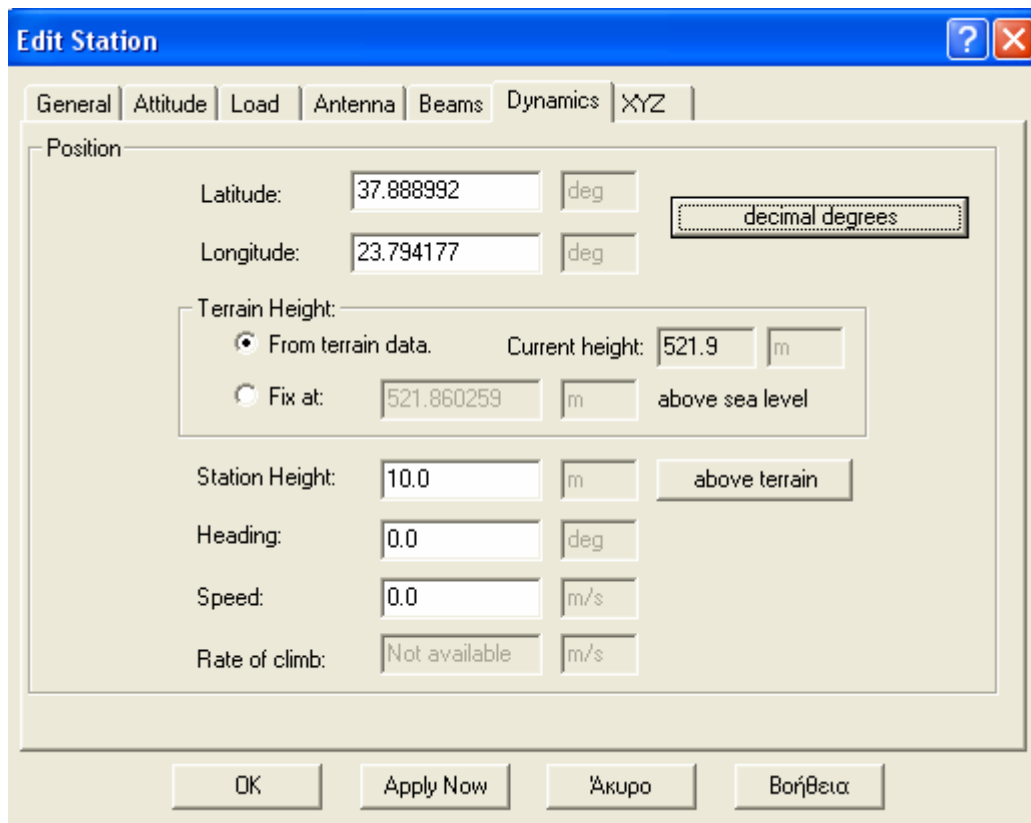
Σχήμα 5.13 Φύλλο Antenna του Επίγειου Σταθμού

Στο φύλλο αυτό, αφού γίνει προσθήκη της κεραίας του επίγειου σταθμού με το πλήκτρο “Add”, ρυθμίζονται οι διάφορες παράμετροί της. Σημειώνεται, ότι υπάρχει η δυνατότητα από το VISUALYSE σε ένα σταθμό να τοποθετηθούν περισσότερες από μία κεραίες, κάτι εκμεταλλευόμαστε στην συγκεκριμένη εφαρμογή. Επειδή το επίγειο τερματικό μπορεί να κινείται σε τρεις διαφορετικές ζώνες χρησιμοποιούμε τρεις διαφορετικές κεραίες αφού από κάθε ζώνη εκπέμπει και λαμβάνει με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Η μέθοδος σκόπησης της εν λόγω κεραίας, που ονομάζεται “Antenna UAC”, προσδιορίζεται στο πεδίο “Pointing Method”. Δεδομένου ότι η ζεύξη με την πλατφόρμα ενεργοποιείται μόνο εφόσον το τερματικό βρίσκεται εντός της αντίστοιχης ζώνης της περιοχής κάλυψης της, σαν μέθοδος στόχευσης επιλέγεται το “Tracking defined by link”, όπου η ζεύξη που προσδιορίζει την ανίχνευση (tracking), περιγράφεται σε επόμενη παράγραφο. Τέλος, εισάγονται στα πεδία “Feed loss” και “Feed temp” οι τιμές “0.0dB” και “300 °K” αντίστοιχα, που αναφέρονται στις απώλειες και στην ισοδύναμη θερμοκρασία θορύβου του κυκλώματος τροφοδοσίας της κεραίας του επίγειου σταθμού. Τα υπόλοιπα πεδία διατηρούν τις προκαθορισμένες (default) τιμές τους.



Σχήμα 5.14 Φύλλο Beams του Επίγειου Σταθμού

Στο παράθυρο αυτό, προσαρτώνται με το πλήκτρο “Add” στην κεραία που μόλις δημιουργήθηκε ένα διάγραμμα ακτινοβολίας που αφορά στην αποστολή (άνω ζεύξη) και λήψη (κάτω ζεύξη) δεδομένων από τον επίγειο σταθμό αφού έχουν οριστεί τα ίδια χαρακτηριστικά εκπομπής και λήψης. Το διάγραμμα ονομάζεται “UAC Beam” και ο τύπος του επιλέγεται από το πεδίο “Beam type”. Η δημιουργία των τύπων για τα διαγράμματα ακτινοβολίας αναλύθηκε σε προηγούμενη παράγραφο. Τέλος, τα πεδία “Azimuth”, “Elevation” και “Orientation”, που προσδιορίζουν τον προσανατολισμό των διαγραμμάτων ακτινοβολίας, τίθενται ίσα με “0 deg”, με σκοπό τα συγκεκριμένα διαγράμματα ακτινοβολίας να στοχεύουν στην ίδια κατεύθυνση με την κεραία του επίγειου σταθμού, δηλαδή στην πλατφόρμα. Τα υπόλοιπα πεδία διατηρούν τις προκαθορισμένες (default) τιμές τους.



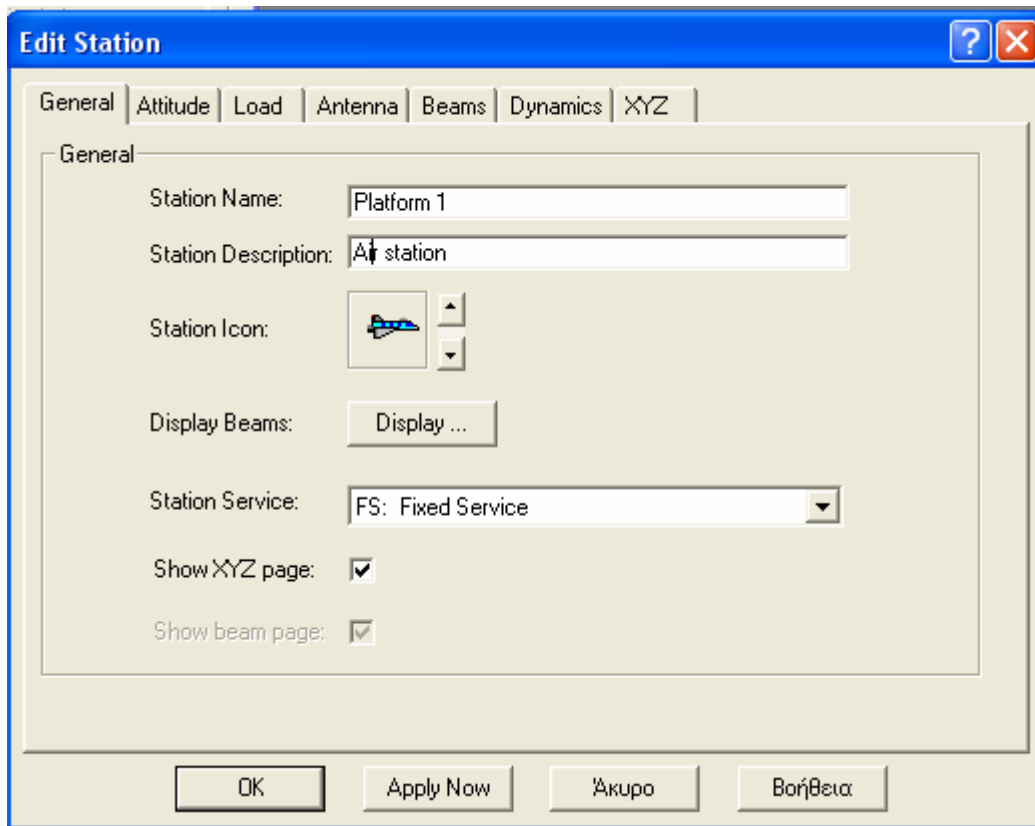
Σχήμα 5.15 Φύλλο Dynamics του Επίγειου Σταθμού

Σε αυτό το φύλλο, προσδιορίζονται οι ακριβείς συντεταγμένες του επίγειου σταθμού. Συγκεκριμένα, το γεωγραφικό πλάτος “Latitude” είναι “37,888992 deg”, ενώ το γεωγραφικό μήκος “Longitude” είναι “23,794177 deg”. Σε ότι αφορά στο υψόμετρο στο οποίο βρίσκεται ο επίγειος σταθμός, μέσω της επιλογής “Terrain Height: From Terrain data” καθορίζεται ο αυτόματος υπολογισμός του με χρήση του ψηφιακού χάρτη της περιοχής. Συγκεκριμένα, προέκυψε ότι το ύψος του επίγειου σταθμού είναι “521,9 m”. Το ύψος του σταθμού τέθηκε ίσο με “10 m” στο πεδίο “Station Height”. Τα υπόλοιπα πεδία διατηρούν τις προκαθορισμένες (default) τιμές τους.

Τα 3 υπόλοιπα φύλλα εισαγωγής παραμέτρων για τον επίγειο σταθμό είναι τα “Attitude”, “Load” και “XYZ”. Όλα τα πεδία στα φύλλα αυτά διατηρούν τις προκαθορισμένες (default) τιμές τους.

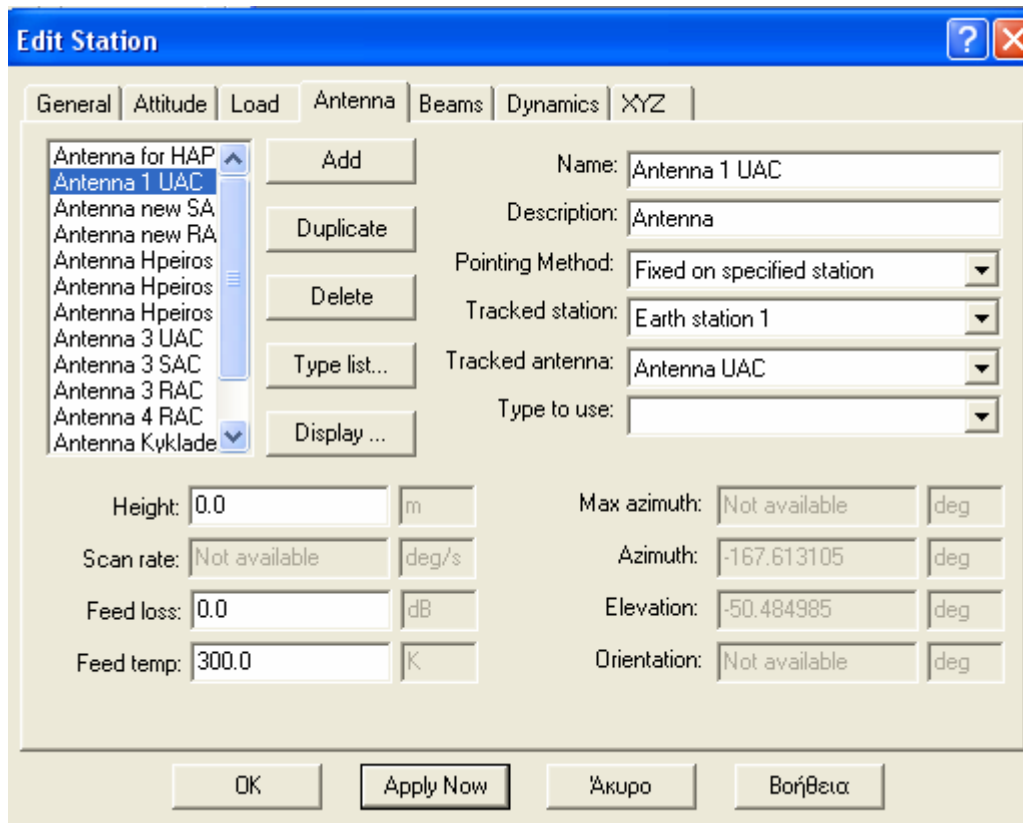
5.7.2 Κατασκευή στρατοσφαιρικής πλατφόρμας

Στη συνέχεια, δημιουργείται η στρατοσφαιρική πλατφόρμα. Προφανώς το είδος του σταθμού είναι τύπου “Air Sation”. Στα ακόλουθα σχήματα απεικονίζονται στιγμιότυπα με τα διάφορα παράθυρα εισαγωγής δεδομένων, που αφορούν στη συγκεκριμένη πλατφόρμα.



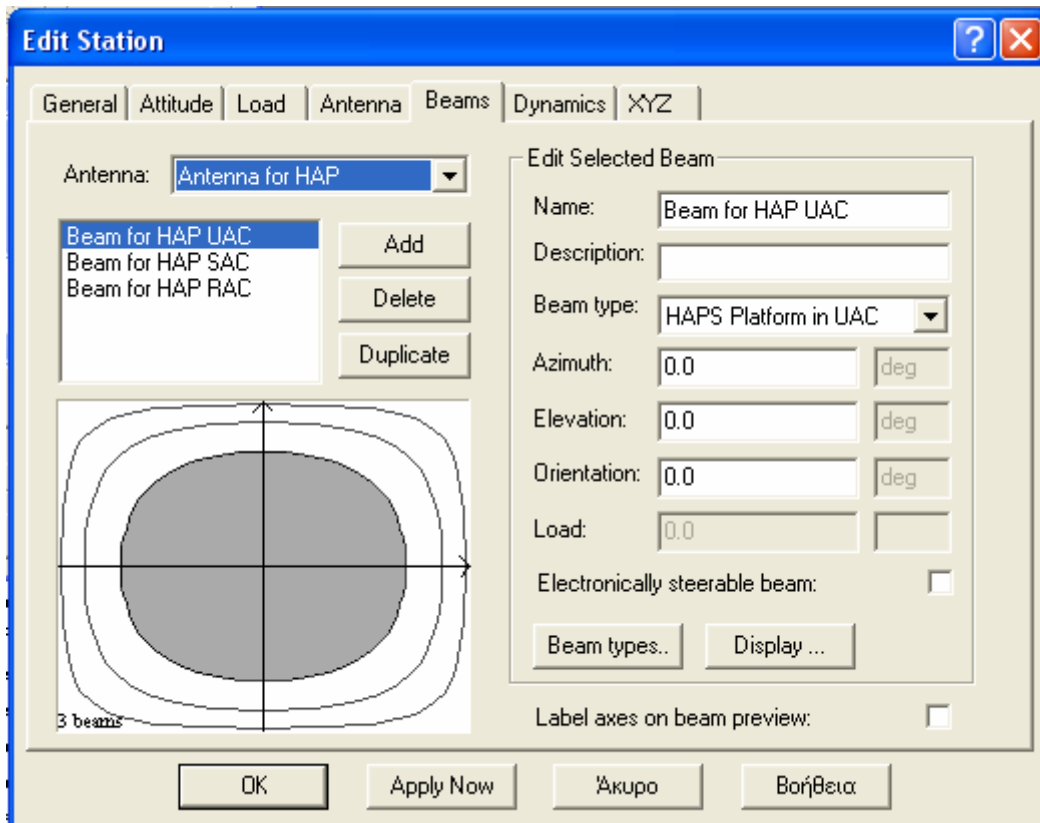
Σχήμα 5.16 Φύλλο General της πλατφόρμας

Στο φύλλο αυτό, συμπληρώνονται γενικά στοιχεία για την πλατφόρμα. Το όνομα του σταθμού είναι “Platform 1” και εισάγεται στο πεδίο “Station Name”, ενώ στο πεδίο “Station Description” εισάγεται μια αναλυτικότερη περιγραφή για αυτόν και συγκεκριμένα “Air Station”. Ακολούθως, ορίζεται το εικονίδιο με το οποίο ο σταθμός θα απεικονίζεται στο χάρτη. Τέλος, στο πεδίο “Station Service” επιλέγεται το είδος της τηλεπικοινωνιακής υπηρεσίας, το οποίο θα εξυπηρετεί και αυτό είναι “FSS: Fixed Satellite Service”. Τα υπόλοιπα πεδία διατηρούν τις προκαθορισμένες (default) τιμές τους.



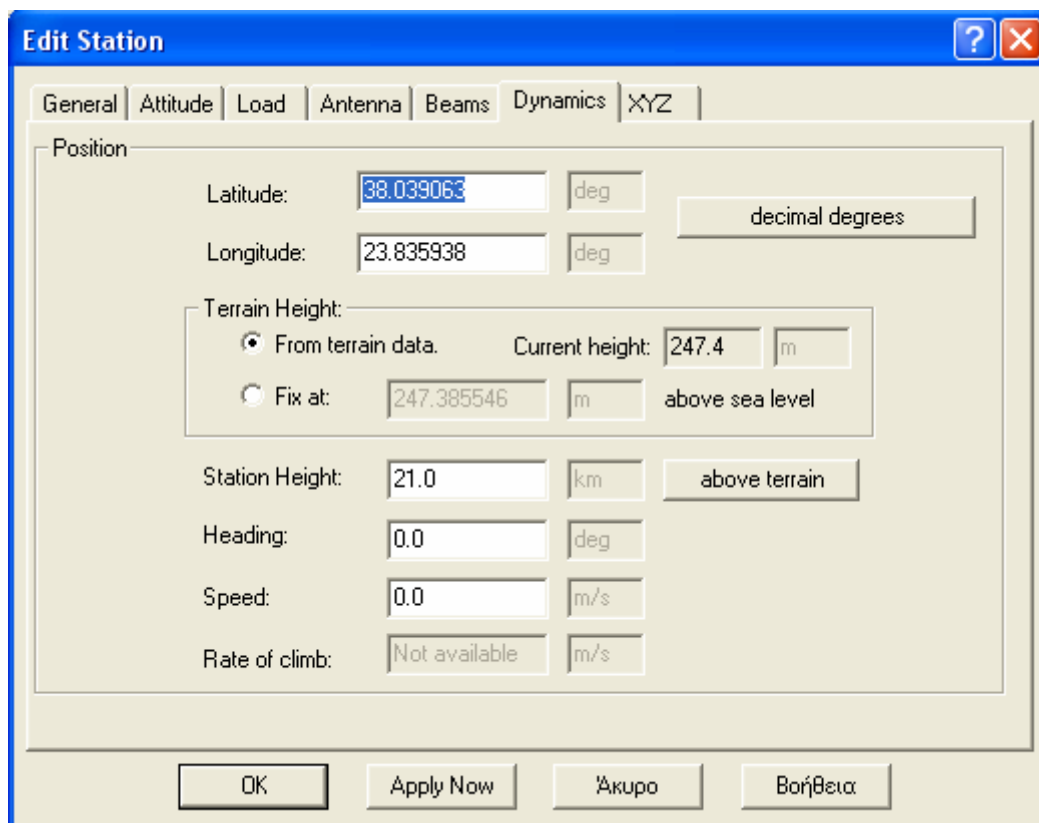
Σχήμα 5.17 Φύλλο Antenna της πλατφόρμας

Στο φύλλο αυτό, γίνεται προσθήκη της κεραίας της πλατφόρμας με το πλήκτρο “Add” και ρυθμίζονται οι διάφορες παράμετροί της. Η μέθοδος σκόπευσης της εν λόγω κεραίας, που ονομάζεται “Antenna 1 UAC”, προσδιορίζεται στο πεδίο “Pointing Method”. Δεδομένου ότι η κεραία του δορυφόρου είναι συνεχώς προσανατολισμένη στον επίγειο σταθμό ο οποίος κινείται στην περιοχή κάλυψής της, σαν μέθοδος στόχευσης επιλέγεται το “Fixed on Specified Station” και τα πεδία “Azimuth”, “Elevation” και “Orientation” προσαρμόζονται ανάλογα με τη θέση του σταθμού. Οι συγκεκριμένες συντεταγμένες ορίζονται με βάση ένα κινητό σύστημα αξόνων προσαρτημένο στην πλατφόρμα. Στα πεδία “Feed loss” και “Feed temp” εισάγονται οι τιμές “0dB” και “300⁰K” αντίστοιχα, που αναφέρονται στις απώλειες και στην ισοδύναμη θερμοκρασία θορύβου του κυκλώματος τροφοδοσίας της κεραίας της πλατφόρμας. Τα υπόλοιπα πεδία διατηρούν τις προκαθορισμένες (default) τιμές τους.



Σχήμα 5.18 Φύλλο Beams της πλατφόρμας

Στο παράθυρο αυτό, προσαρτάται στην κεραία που δημιουργήθηκε ένα διάγραμμα ακτινοβολίας που αφορά στη λήψη (άνω ζεύξη) και αποστολή (κάτω ζεύξη) δεδομένων. Το διάγραμμα ονομάζεται “Beam for HAP UAC” και ο τύπος του επιλέγεται από το πεδίο “Beam type”. Η δημιουργία των τύπων για τα διαγράμματα ακτινοβολίας αναλύθηκε σε προηγούμενη παράγραφο. Τέλος, τα πεδία “Azimuth”, “Elevation” και “Orientation”, που προσδιορίζουν τον προσανατολισμό των διαγραμμάτων ακτινοβολίας, τίθενται ίσα με “0 deg”, με σκοπό το συγκεκριμένο διάγραμμα ακτινοβολίας να στοχεύει στην ίδια κατεύθυνση με την κεραία της πλατφόρμας, δηλαδή στον επίγειο σταθμό. Τα υπόλοιπα πεδία διατηρούν τις προκαθορισμένες (default) τιμές τους.



Σχήμα 5.19 Φύλλο Dynamics της πλατφόρμας

Σε αυτό το φύλλο, προσδιορίζονται οι ακριβείς συντεταγμένες του επίγειου σταθμού. Συγκεκριμένα, το γεωγραφικό πλάτος “Latitude” είναι “38.0390632 deg”, ενώ το γεωγραφικό μήκος “Longitude” είναι “23,835938 deg”. Το ύψος του σταθμού τέθηκε ίσο με “21km” στο πεδίο “Station Height” αφού οι πλατφόρμες βρίσκονται στη στρατόσφαιρα. Τα υπόλοιπα πεδία διατηρούν τις προκαθορισμένες (default) τιμές τους.

Τα 3 υπόλοιπα φύλλα εισαγωγής παραμέτρων για τον επίγειο σταθμό είναι τα “Attitude”, “Load” και “XYZ”. Όλα τα πεδία στα φύλλα αυτά διατηρούν τις προκαθορισμένες (default) τιμές τους.

5.8 Ανίχνευση – Tracking

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα ο επίγειος σταθμός κινείται εντός της περιοχής κάλυψης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας, δηλαδή στις τρεις διαφορετικές ζώνες UAC, SAC, RAC. Σύμφωνα με τη σύσταση της ITU F.1500 σε κάθε μία από τις παραπάνω ζώνες το επίγειο τερματικό εκπέμπει και λαμβάνει με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Γι’ αυτό το λόγο πάνω στον επίγειο σταθμό είναι προσαρτημένες τρεις διαφορετικές κεραιές, κάθε μία εκ των οποίων ενεργοποιείται όταν αυτός βρίσκεται στην αντίστοιχη ζώνη της περιοχής κάλυψης. Το VISUALYSE, με τη λειτουργία της tracking strategies, μοντελοποιεί την παραπάνω διαδικασία,

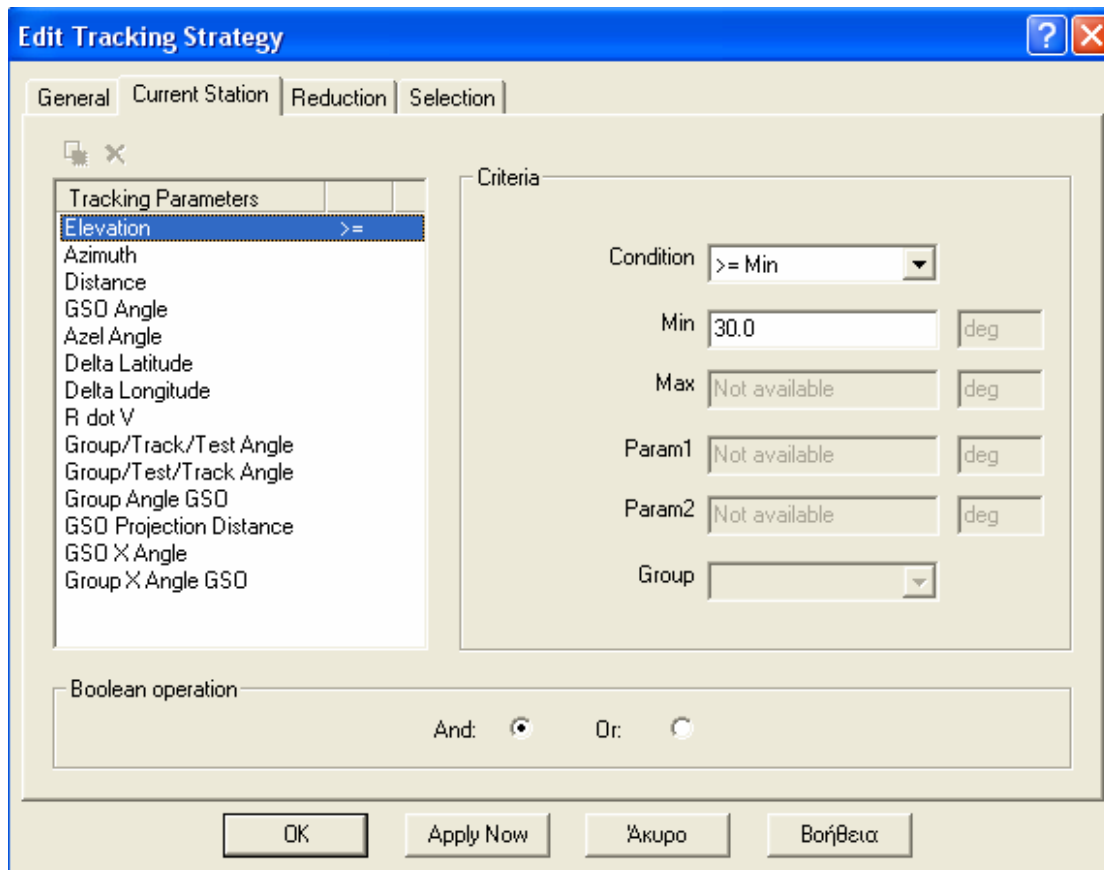
επιτρέποντας σε ένα σταθμό να ακολουθεί μία συγκεκριμένη στρατηγική, προκειμένου να εντοπίσει έναν σταθμό που ικανοποιεί κάποια κριτήρια και να δημιουργήσει μία ζεύξη με αυτόν. Προφανώς, η μέθοδος tracking μπορεί να χρησιμοποιείται και σε άλλα συστήματα. Για παράδειγμα, σε κυψελωτά συστήματα κινητών επικοινωνιών, ένα κινητό τερματικό επιλέγει από τους σταθμούς βάσης που υπάρχουν στην περιοχή που βρίσκεται, εκείνον που του προσφέρει την καλύτερη δυνατή επικοινωνία, με βάση την ισχύ του σήματος που λαμβάνει από αυτόν.

Ασφαλώς, για το υπό εγκατάσταση στρατοσφαιρικό σύστημα, ο επίγειος σταθμός καλείται να επιλέξει ανάμεσα σε πολλές πλατφόρμες, εκείνη με την οποία θα επικοινωνεί. Από τις προδιαγραφές του συστήματος είναι γνωστό, ότι η ζεύξη μεταξύ επίγειου σταθμού και πλατφόρμας μπορεί να είναι ενεργή μόνο όταν η γωνία ανύψωσης της τελευταίας είναι μεγαλύτερη από 5° . Αν η γωνία ανύψωσης κυμαίνεται στις 5° έως 15° , τότε το επίγειο τερματικό κινείται στη ζώνη RAC και ενεργοποιείται η αντίστοιχη κεραία του σταθμού με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά εκπομπής και λήψης. Αντίστοιχα αν η γωνία ανύψωσης της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας βρίσκεται ανάμεσα στις 15° και 30° , το τερματικό κινείται στην SAC ζώνη και ενεργοποιείται η αντίστοιχη κεραία ενώ αν η γωνία ανύψωσης του HAP είναι μεγαλύτερη των 30° και μικρότερη των 90° , ο σταθμός κινείται στη UAC ζώνη. Στις σελίδες που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι φόρμες εισαγωγής δεδομένων που σχετίζονται με τον καθορισμό μίας στρατηγικής ανίχνευσης (tracking strategy) από τον επίγειο σταθμό, ώστε στο υπό εγκατάσταση στρατοσφαιρικό σύστημα να ενεργοποιούνται οι ζεύξεις μόνο όταν εξασφαλίζεται το κριτήριο η γωνία ανύψωσης της πλατφόρμας να βρίσκεται εντός των ορίων που απαιτεί η κάθε ζεύξη.

The image shows a software dialog box titled "Edit Tracking Strategy". It has a blue title bar with a question mark icon and a close button. Below the title bar are four tabs: "General", "Current Station", "Reduction", and "Selection". The "General" tab is selected. The dialog contains two main sections. The first section, titled "Name", has a "Name:" label followed by a text box containing "uac", and a "Description:" label followed by a text box containing "Tracking Strategy". The second section, titled "Track Duration", has a "Prefer current station:" label followed by an unchecked checkbox, a "Method:" label followed by a dropdown menu, and a "Timesteps:" label followed by a text box containing "Not available". At the bottom of the dialog are four buttons: "OK", "Apply Now", "Άκυρο", and "Βοήθεια".

Σχήμα 5.20 Φύλλο General για τη στρατηγική ανίχνευσης

Στο φύλλο αυτό, δίνεται στη στρατηγική ανίχνευσης που χρησιμοποιείται το όνομα “uac” καθώς και η σύντομη περιγραφή “Tracking Strategy”, αφού ανιχνεύεται κατά πόσο ο επίγειος σταθμός κινείται εντός της UAC ζώνης κάποιας πλατφόρμας . Τα άλλα πεδία διατηρούν τις προκαθορισμένες (default) τιμές τους.



Σχήμα 5.21 Φύλλο Current Station για τη στρατηγική ανίχνευσης της πλατφόρμας

Στο φύλλο αυτό εισάγονται από το χρήστη τα κριτήρια που ικανοποιεί ο σταθμός, ο οποίος ανιχνεύεται την τρέχουσα στιγμή. Οι παράμετροι με τη βοήθεια των οποίων πραγματοποιείται η ανίχνευση μπορεί να είναι η γωνία ανύψωσης, το αζιμούθιο, η απόσταση κλπ.

Το VISUALYSE διαχωρίζει τα κριτήρια που εφαρμόζονται στον σταθμό που ανιχνεύεται την τρέχουσα στιγμή, από εκείνα που εφαρμόζονται στους υπόλοιπους σταθμούς. Ωστόσο, η διαδικασία του καθορισμού των παραμέτρων και στις δύο περιπτώσεις είναι η ίδια.

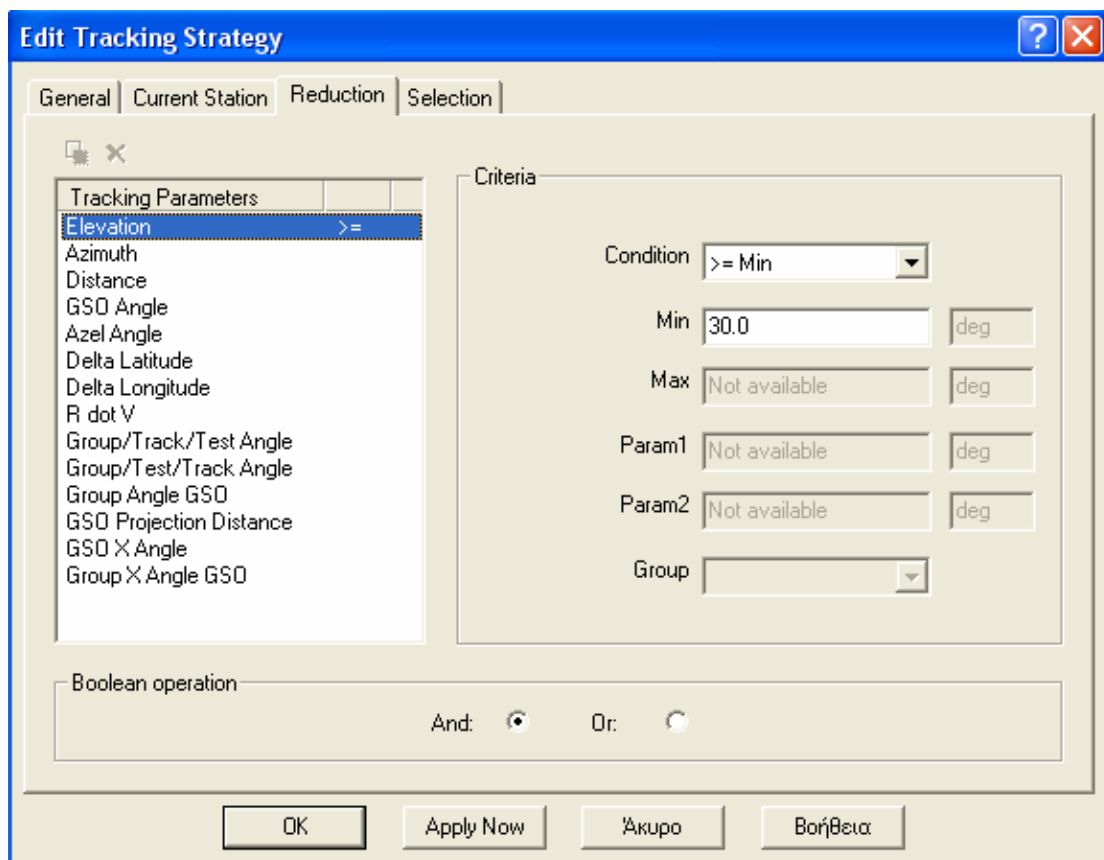
Για κάθε παράμετρο, υπάρχει μία μέγιστη (“max”) και μία ελάχιστη (“min”) τιμή καθώς και μία συνθήκη που επιλέγεται ανάμεσα στις παρακάτω:

- “any” – ο σταθμός παραμένει υποψήφιος για ανίχνευση ανεξαρτήτως της τιμής που παίρνει η παράμετρος. Τα πεδία “max” και “min” δεν είναι ενεργά όταν η επιλογή “any” είναι ενεργοποιημένη.
- “>= min” – η τιμή της παραμέτρου πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση από την τιμή του πεδίου “min”. Το πεδίο “max” δεν είναι διαθέσιμο σε αυτήν την περίπτωση.

- “<=max” – η τιμή της παραμέτρου πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση από την τιμή του πεδίου “max”. Το πεδίο “min” δεν είναι διαθέσιμο σε αυτήν την περίπτωση.
- “>= min and <= max” – η τιμή της παραμέτρου πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση από την τιμή του πεδίου “max” και μεγαλύτερη ή ίση από την τιμή του πεδίου “min”.
- “<= min or >= max” – η τιμή της παραμέτρου πρέπει να βρίσκεται εκτός της περιοχής που ορίζουν οι τιμές των πεδίων “max” και “min”.

Υπάρχει επίσης η δυνατότητα να καθοριστεί συνδυασμός συνθηκών για περισσότερες από μία παραμέτρους. Ο τρόπος με τον οποίο συνδυάζονται οι συνθήκες αυτές καθορίζονται από τις λογικές πράξεις “And” και “Or” της άλγεβρας Boolean, οι οποίες επιλέγονται στο φύλλο αυτό.

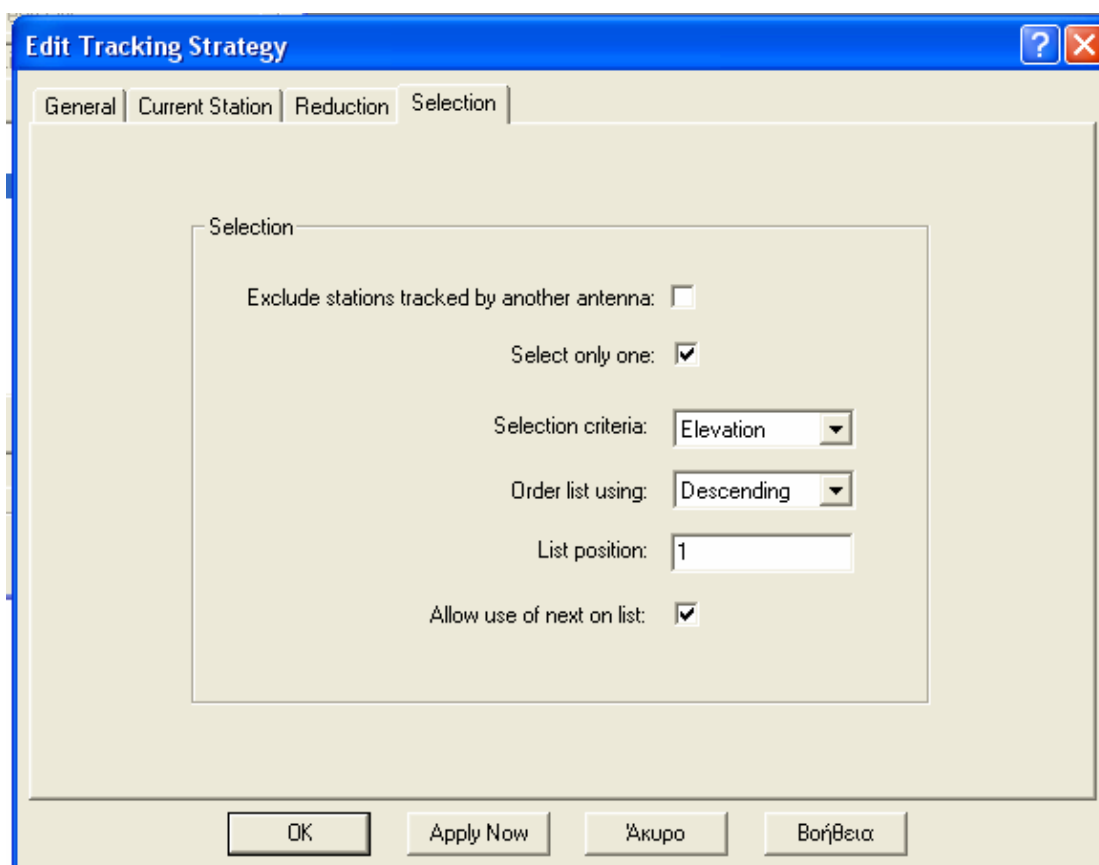
Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η συνθήκη που πρέπει να ικανοποιείται προκειμένου ένας σταθμός να θεωρηθεί ότι κινείται εντός της ζώνης UAC φαίνεται στο παραπάνω φύλλο “Current Station”



Σχήμα 5.22 Φύλλο Reduction για τη στρατηγική ανίχνευσης

Στο φύλλο αυτό ορίζονται τα κριτήρια που πρέπει να ικανοποιεί μία πλατφόρμα, ώστε να είναι υποψήφια να ανιχνευθεί, δηλαδή να επιλεγεί από τον επίγειο σταθμό, να δημιουργήσει ενεργή ζεύξη με αυτήν και να κινείται εντός της UAC ζώνης της περιοχής κάλυψής της. Στο συγκεκριμένο φύλλο, τα δεδομένα και οι συνθήκες εισάγονται από το χρήστη όπως ακριβώς και στο φύλλο “Current Station”. Μοναδική διαφορά είναι ότι τα κριτήρια δεν εφαρμόζονται στην πλατφόρμα που είναι επιλεγμένη την τρέχουσα στιγμή, αλλά στις υπόλοιπες, προκειμένου να περιοριστεί ο αριθμός των υποψήφιων προς ανίχνευση σταθμών.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, υποψήφιες πλατφόρμες για ανίχνευση ορίζεται να είναι εκείνες, των οποίων η γωνία ανύψωσής ως προς το σταθμό είναι μεγαλύτερη ή ίση των 30°.



Σχήμα 5.23 Φύλλο Selection για τη στρατηγική ανίχνευσης

Με τη βοήθεια των κριτηρίων που ορίζονται στο φύλλο “Reduction”, δημιουργείται ένα σύνολο από σταθμούς υποψήφιους για δημιουργία ζεύξης. Η επιλογή του ενός πραγματοποιείται με το φύλλο “Selection”.

Η ενεργοποίηση της επιλογής “Select only one” εξασφαλίζει ότι μόνο ένας σταθμός από τους υποψήφιους θα επιλεγεί.

Στο πεδίο “Selection Criteria” ορίζεται η παράμετρος που θα χρησιμοποιηθεί για την επιλογή του σταθμού, ενώ το πεδίο “Order list using” καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο κατατάσσονται οι υποψήφιοι σταθμοί στη λίστα που τους περιέχει. Οι επιλογές για το πεδίο αυτό είναι:

- “none” – δεν πραγματοποιείται καμία επιπλέον ρύθμιση της σειράς των σταθμών στη λίστα.
- “ascending” – ψηλότερα στη λίστα βρίσκονται σταθμοί με τιμή της παραμέτρου που διαφέρει περισσότερο από την επιθυμητή τιμή.
- “descending” – ψηλότερα στη λίστα βρίσκονται σταθμοί με τιμή της παραμέτρου που διαφέρει λιγότερο από την επιθυμητή τιμή.
- “random” – οι σταθμοί τοποθετούνται με τυχαίο τρόπο στη λίστα.

Με το πεδίο “List Position” δίνεται στο χρήστη η δυνατότητα να ορίσει σε ποια θέση της λίστας με τους υποψήφιους σταθμούς βρίσκεται ο σταθμός που τελικά θα επιλεγεί. Δίνοντας στο πεδίο την τιμή “2”, θα μπορούσε να επιλέγεται ο σταθμός που βρίσκεται στη θέση 2 της λίστας, έχοντας για παράδειγμα τη δεύτερη μικρότερη απόσταση από τον επίγειο σταθμό. Σε περίπτωση που ο σταθμός που επιλέγεται με τον παραπάνω τρόπο δεν υπάρχει στη λίστα, αν για παράδειγμα οι σταθμοί είναι δύο και ζητείται να επιλεγεί ο τρίτος στη λίστα, η ενεργοποίηση της επιλογής “Allow use of next on list”, επιτρέπει να επιλεγεί ο επόμενος σταθμός της λίστας.

Στο συγκεκριμένο σχήμα που φαίνεται παραπάνω, ορίζεται ότι θα επιλεγεί ένας σταθμός που θα βρίσκεται σε ζεύξη με τον επίγειο σταθμό, το κριτήριο επιλογής είναι η γωνία ανύψωσης (“*elevation*”), και τελικά επιλέγεται ο σταθμός με τη μικρότερη γωνία ανύψωσης που ικανοποιεί το κριτήριο.

Αντίστοιχες στρατηγικές αναπτύχθηκαν και για τους επίγειους σταθμούς που κινούνται στις ζώνες SAC και RAC ζώνες έτσι ώστε όταν ικανοποιούνται τα κριτήρια για τη γωνία ανύψωσης να ενεργοποιείται η κατάλληλη ζεύξη.

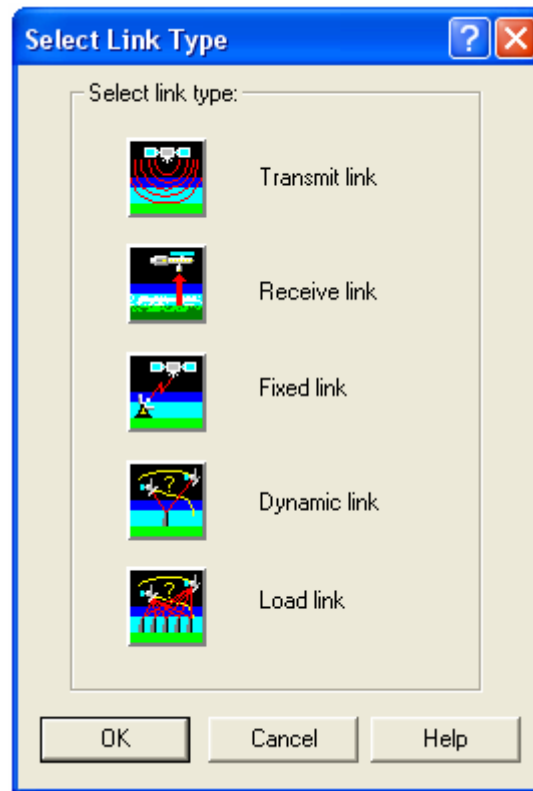
5.9 Δημιουργία ζεύξεων

Η δημιουργία ζεύξεων με το λογισμικό VISUALYSE είναι εφικτή μέσω της παραμέτρου Link. Με την παράμετρο αυτή δύο σταθμοί μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους δημιουργώντας ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα. Επιπλέον, με χρήση του Link και συνδυασμό των πληροφοριών για τους σταθμούς, τα σήματα, τα μοντέλα διάδοσης και τα κριτήρια παρεμβολής, το VISUALYSE μπορεί να μοντελοποιήσει πλήρως και να αναλύσει με στατιστικά μεγέθη τη συμπεριφορά μίας τηλεπικοινωνιακής ζεύξης.

Γενικά, το VISUALYSE επιτρέπει στο χρήστη να δημιουργήσει μία ζεύξη, που μπορεί να ανήκει σε μία από τις παρακάτω κατηγορίες:

- Ζεύξη Εκπομπής (Transmit Link) : Σε αυτήν την κατηγορία ζεύξεων, υπάρχει ένας σταθμός εκκίνησης (start station) από τον οποίο εκπέμπεται το σήμα, αλλά δεν υπάρχει συγκεκριμένος τελικός σταθμός (end station). Το είδος αυτής της ζεύξης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συστήματα εκπομπής (broadcast), τα οποία έχουν λειτουργία παρεμβολέα σε ένα σενάριο προς προσομοίωση, οπότε δεν έχει ουσιαστικό νόημα η ύπαρξη καθορισμένου δέκτη σε αυτά.
- Ζεύξη Λήψης (Receive Link) : Σε αυτήν την κατηγορία ζεύξεων, υπάρχει ένας σαφώς καθορισμένος τελικός σταθμός (end station) αλλά δεν υπάρχει συγκεκριμένος σταθμός εκκίνησης (start station). Το είδος αυτής της ζεύξης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παράδειγμα σε δορυφόρους παρατήρησης της Γης (earth observation satellites) ή γενικά σε κάθε περίπτωση που είναι γνωστό και καθορισμένο το σήμα λήψης σε ένα σταθμό.
- Σταθερή Ζεύξη (Fixed Link) : Πρόκειται για τη ζεύξη, στην οποία είναι καθορισμένοι τόσο ο σταθμός εκκίνησης (start station) όσο και ο τελικός σταθμός (end station). Αυτός ο τύπος ζεύξης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε τηλεπικοινωνιακά συστήματα που θεωρούνται επιθυμητά και τα οποία παρεμβάλλονται από κάποιο άλλο σύστημα ή συστήματα. Επίσης, επίγειες μικροκυματικές ζεύξεις μπορεί να μοντελοποιηθούν σαν Σταθερές Ζεύξεις.
- Δυναμική Ζεύξη (Dynamic Link) : Σε αυτό το είδος ζεύξεων, ο αρχικός και ο τελικός σταθμός δεν είναι ακριβώς καθορισμένοι, αλλά μπορούν να αλλάξουν κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Η επιλογή των σταθμών που επιλέγονται σαν αρχικοί ή τελικοί πραγματοποιείται με κάποια κριτήρια. Για παράδειγμα, στην περίπτωση αστερισμού δορυφόρων χαμηλής τροχιάς (LEO Constellation), όπου εμφανίζεται το φαινόμενο της μεταμπομπής, ένας επίγειος σταθμός δε βρίσκεται σε ζεύξη με τον ίδιο δορυφόρο συνεχώς, αλλά επιλέγει εκείνον που του παρέχει την καλύτερη ποιότητα επικοινωνίας, ανάλογα με τη γωνία ανύψωσής του.
- Ζεύξη Φορτίου (Load Link) : Αυτό το είδος ζεύξης δεν έχει ικανότητα εκπομπής ή λήψης και χρησιμοποιείται, προκειμένου να καθορίσει την ποσότητα τηλεπικοινωνιακού φορτίου μεταξύ του αρχικού και του τελικού της σταθμού.

Ακολουθεί το παράθυρο επιλογής του τύπου του ζεύξης:



Σχήμα 5.24 Παράθυρο επιλογής τύπου ζεύξης

Η μελέτη της αξιοπιστίας της εκάστοτε ζεύξης μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια του VISUALYSE. Αναφορικά με την παρεμβολή, αυτή μπορεί να αναλυθεί ποσοτικά με τη βοήθεια των παρακάτω μεγεθών:

C – η ισχύς του επιθυμητού σήματος

I – η ισχύς του σήματος παρεμβολής

N – η ισχύς του θορύβου στην είσοδο του δέκτη

$\frac{C}{I}$ – ο λόγος ισχύος επιθυμητού σήματος προς σήμα παρεμβολής

$\frac{C}{N}$ – ο λόγος ισχύος επιθυμητού σήματος προς θόρυβο

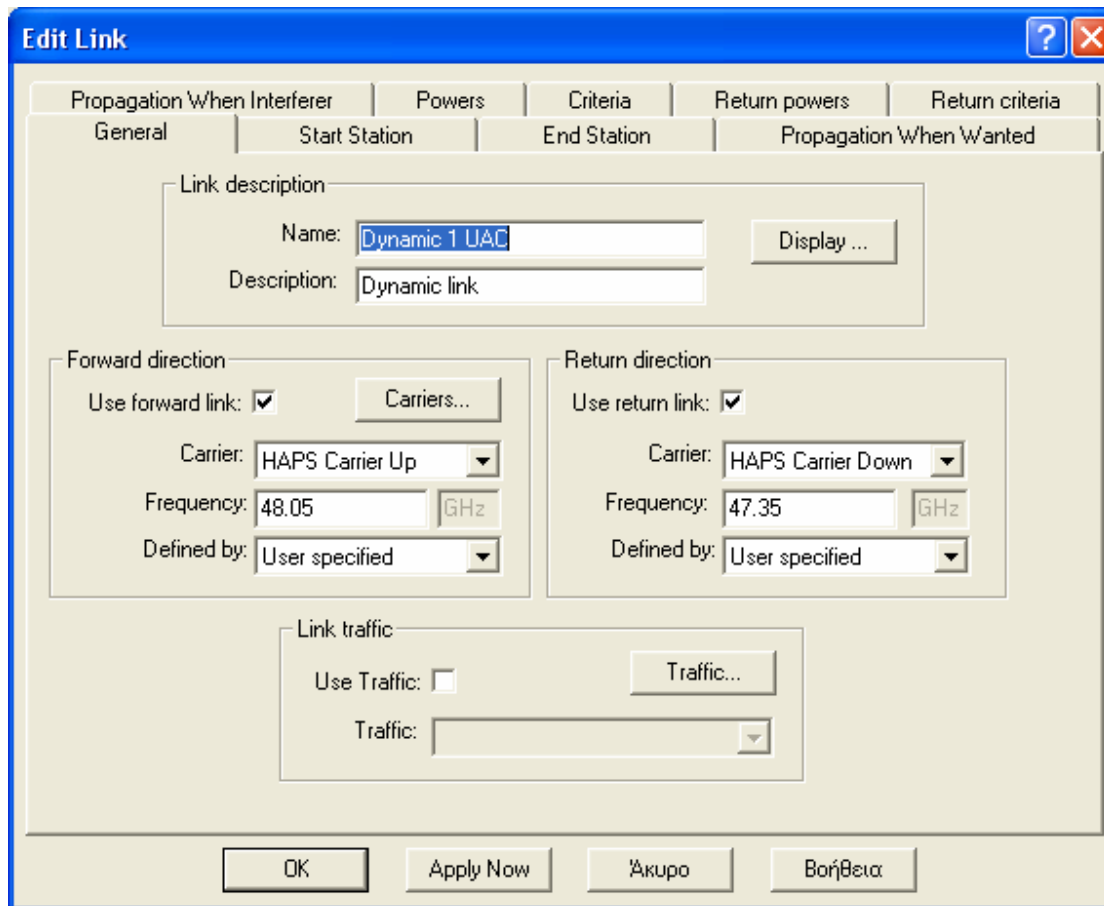
$\frac{C}{N+I}$ – ο λόγος ισχύος επιθυμητού σήματος προς θόρυβο και σήμα παρεμβολής

$\frac{I}{N}$ – ο λόγος ισχύος σήματος παρεμβολής προς θόρυβο

Σημειώνεται τέλος, ότι το VISUALYSE δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να ομαδοποιήσει κάποιες ζεύξεις σε ομάδα ζεύξεων, δημιουργώντας ένα Link Group. Κάτι τέτοιο μπορεί να είναι πολύ χρήσιμο, στην περίπτωση για παράδειγμα που επιδιώκεται η ανάλυση ενός συστήματος που περιλαμβάνει πολλές ζεύξεις.

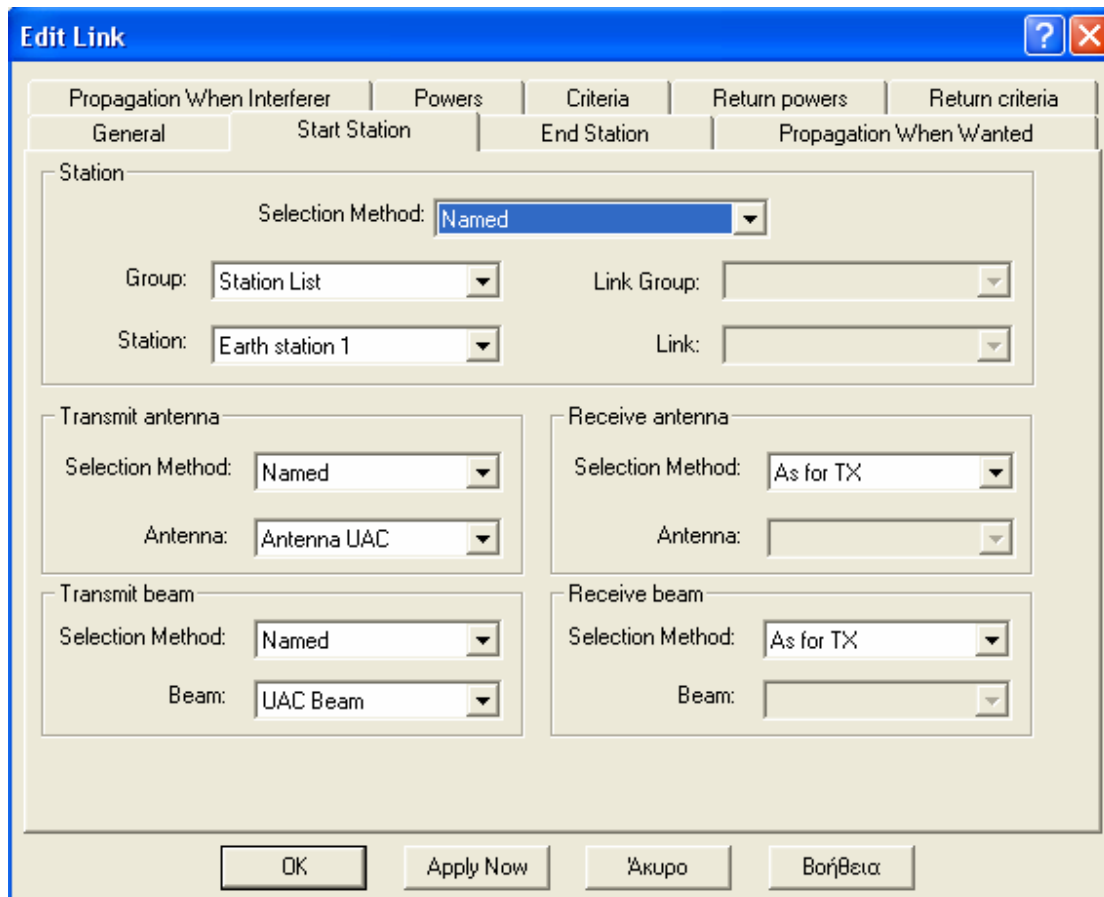
5.9.1 Κατασκευή ζεύξης μεταξύ επίγειου σταθμού και πλατφόρμας

Μετά τη δημιουργία του επίγειου και του στρατοσφαιρικού σταθμού, των διαγραμμάτων ακτινοβολίας των κεραιών τους και τον καθορισμό των παραμέτρων για τα φέροντα κύματα της άνω και της κάτω ζεύξης, είναι εφικτή η δημιουργία της ζεύξης ανάμεσα στους δύο σταθμούς. Η ζεύξη αυτή θα ανήκει στην κατηγορία Δυναμική Ζεύξη, αφού ο αρχικός σταθμός είναι πάντα ο επίγειος σταθμός και ο τελικός σταθμός θα είναι η πλατφόρμα, εφόσον όμως ικανοποιεί το κριτήριο η γωνία ανύψωσης του από τον ορίζοντα να είναι μεγαλύτερη από 5° , όπως ορίζουν οι προδιαγραφές του συστήματος. Η ζεύξη θα έχει τις προδιαγραφές που ορίζονται για τη UAC ζώνη εφόσον από την αντίστοιχη στρατηγική ανιχνευθεί πως η πλατφόρμα έχει γωνία ανύψωσης 30° έως 90° . Με ανάλογο τρόπο θα ενεργοποιηθούν και οι ζεύξεις που αφορούν τις ζώνες SAC και RAC. Στις σελίδες που ακολουθούν, φαίνονται οι φόρμες εισαγωγής δεδομένων που παρέχει το VISUALYSE, όταν ο χρήστης επιλέξει να δημιουργήσει τη συγκεκριμένη ζεύξη. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, οι φόρμες αυτές περιέχουν τις παραμέτρους που είναι απαραίτητες, προκειμένου να μοντελοποιηθεί η ζεύξη μεταξύ επίγειου σταθμού και πλατφόρμας, καθώς και τα στοιχεία που απαιτείται να υπάρχουν για την περαιτέρω μελέτη και στατιστική ανάλυση της εν λόγω ζεύξης.



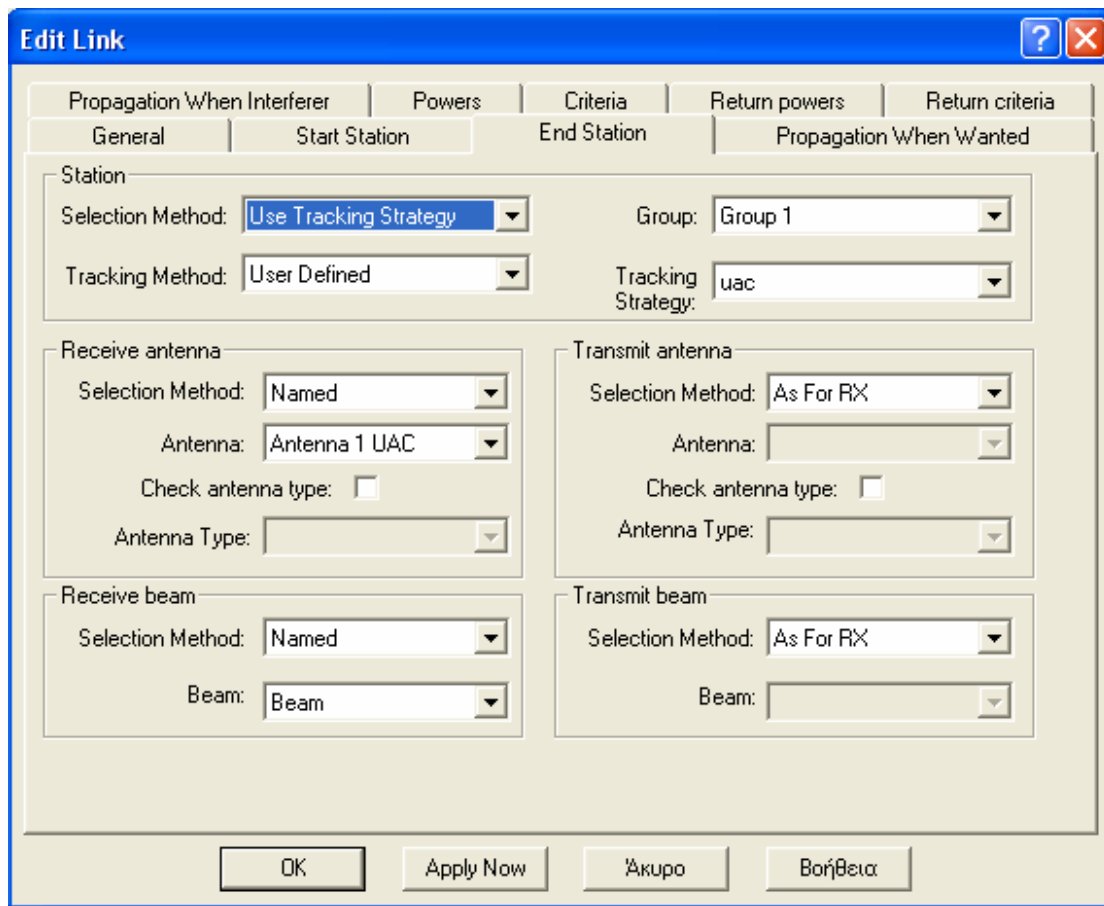
Σχήμα 5.25 Φύλλο General της ζεύξης μεταξύ Επίγειου Σταθμού και Πλατφόρμας

Στο παραπάνω φύλλο φαίνονται οι παράμετροι που εισάγονται αρχικά κατά τη δημιουργία της ζεύξης μεταξύ επίγειου σταθμού και πλατφόρμας. Το όνομα της ζεύξης εισάγεται στο πεδίο “Name” και είναι “Dynamic 1 UAC”, με περιγραφή “Dynamic Link”. Στα πεδία “Forward direction” και “Return Direction” εισάγονται χρήσιμες παράμετροι για τις δύο διευθύνσεις της ζεύξης, δηλαδή τα δύο τμήματα που αντιστοιχούν στη μετάδοση σήματος από τον πομπό προς το δέκτη και αντίστροφα. Συγκεκριμένα, στο “Forward Direction”, που αντιστοιχεί στην άνω ζεύξη, σαν φέρον επιλέγεται το “HAPS Carrie Up”, ο τρόπος δημιουργίας του οποίου περιγράφηκε σε προηγούμενη παράγραφο. Η συχνότητα ορίζεται από το χρήστη και τίθεται ίση με “48.05 GHz”. Στο πεδίο “Return Direction”, επιλέγεται αντίστοιχα σαν φέρον για την κάτω ζεύξη το “HAPS Carrie Down”, ενώ η συχνότητα της κάτω ζεύξης ορίζεται ίση με “47,35 GHz”.



Σχήμα 5.26 Φύλλο Start Station της ζεύξης μεταξύ Επίγειου Σταθμού και Πλατφόρμας

Στο παραπάνω σχήμα φαίνονται οι επιλογές που αναφέρονται στον αρχικό σταθμό της ζεύξης, ο οποίος πρέπει να είναι ο επίγειος σταθμός. Έτσι, στο πεδίο “Selection Method” ενεργοποιείται η επιλογή “Named”, που ορίζει ότι ονομαστικά ο χρήστης επιλέγει το σταθμό που επιθυμεί, ενώ στο πεδίο “Station” εισάγεται το όνομα “Earth Station 1”. Η κεραία εκπομπής είναι η “Antenna UAC” και αυτή η τιμή εισάγεται στο πεδίο “Transmit Antenna”. Στο πεδίο “Receive antenna” επιλέγεται η ίδια κεραία που χρησιμοποιείται για την εκπομπή, δηλαδή η “Antenna UAC”, να χρησιμοποιείται και για τη λήψη, αφού ο επίγειος σταθμός διαθέτει μία κεραία που λειτουργεί τόσο ως πομπός όσο και ως δέκτης. Τέλος, επιλέγεται το διάγραμμα ακτινοβολίας για την κεραία εκπομπής και λήψης. Το διάγραμμα αυτό, του οποίου η δημιουργία έχει περιγραφεί σε προηγούμενη παράγραφο, είναι το “UAC Beam” τόσο για την κεραία εκπομπής, όσο και για την κεραία λήψης.



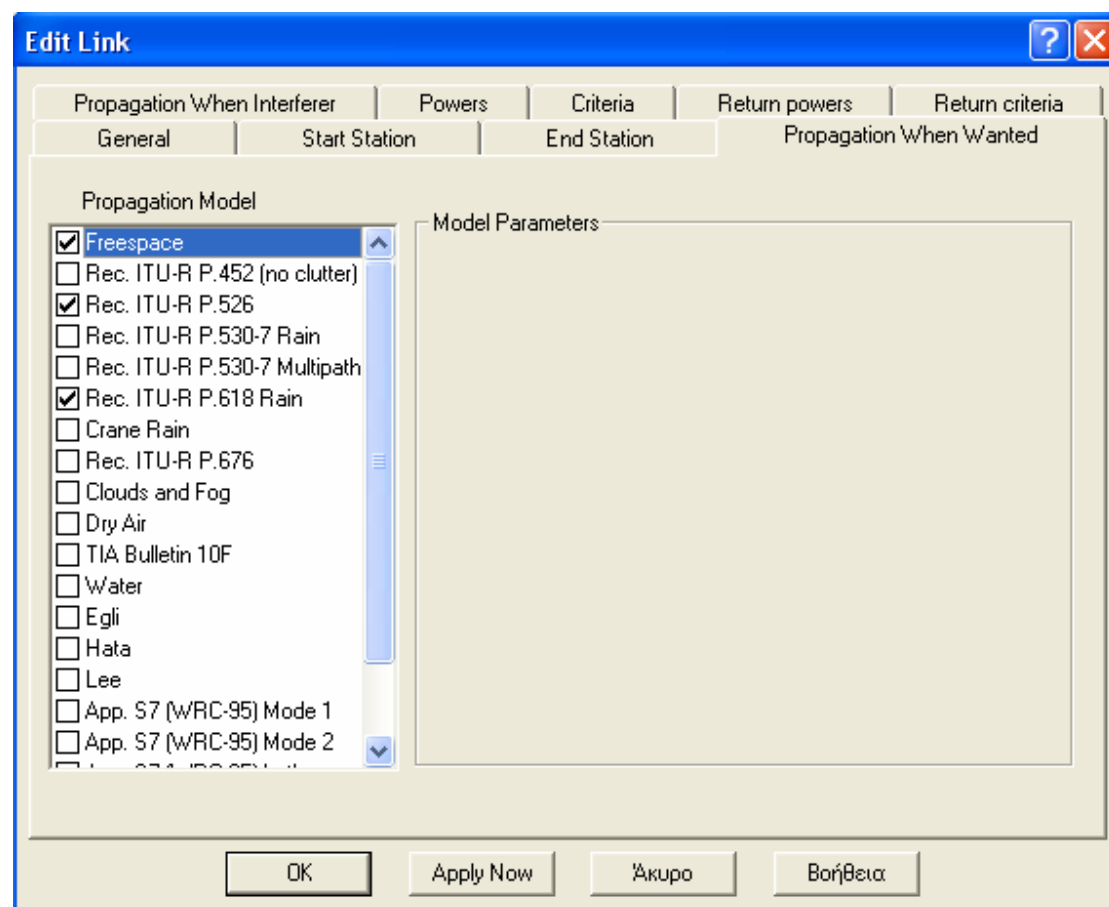
Σχήμα 5.27 Φύλλο End Station της ζεύξης μεταξύ Επίγειου Σταθμού και Πλατφόρμας

Το συγκεκριμένο φύλλο είναι όμοιο με το προηγούμενο, με τη διαφορά ότι σε αυτό εισάγονται οι παράμετροι που είναι σχετικές με τον τελικό σταθμό της ζεύξης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, τελικός σταθμός είναι η πλατφόρμα. Ωστόσο, η ζεύξη παρουσιάζει την ιδιαιτερότητα ότι μπορεί να είναι ενεργή, μόνο όταν η πλατφόρμα φαίνεται από την κεραία του επίγειου σταθμού με γωνία ανύψωσης που βρίσκεται εντός των ορίων που έχουμε θέσει για αυτή τη ζεύξη. Αντίθετα, σε περίπτωση που η γωνία ανύψωσης είναι εκτός αυτών των ορίων, η ζεύξη πρέπει να διακόπτεται. Για το σκοπό αυτό, στο πεδίο “Selection Method”, όπου ορίζεται ο τρόπος επιλογής του τελικού σταθμού, ενεργοποιείται η επιλογή “Use Tracking Strategy”, ώστε η επιλογή του τελικού σταθμού της ζεύξης να πραγματοποιείται με τη βοήθεια κάποιου κριτηρίου. Όπως έχει ήδη σημειωθεί στην παράγραφο, η οποία είναι σχετική με τη στρατηγική ανίχνευσης, το κριτήριο αυτό θα είναι η γωνία ανύψωσης και διαφοροποιείται για κάθε μία εκ των τριών ζωνών κάλυψης. Στο πεδίο “Tracking Method” επιλέγεται η μέθοδος αυτή να ορίζεται από το χρήστη, και στο πεδίο “Tracking Strategy” δηλώνεται ότι η στρατηγική ανίχνευσης είναι η “uac” Tracking Strategy, που έχει δημιουργηθεί ακριβώς για το σκοπό αυτό από το χρήστη.

Η κεραία λήψης και η κεραία εκπομπής, που θα χρησιμοποιούνται από τον τελικό σταθμό της ζεύξης, καθορίζονται στα πεδία “Receive Antenna” και “Transmit Antenna” αντίστοιχα. Η κεραία είναι κοινή και για τη λήψη και την εκπομπή και

πρόκειται για τη κεραία της πλατφόρμας, η οποία έχει δημιουργηθεί στη συγκεκριμένη περίπτωση για τη ζώνη UAC με όνομα "Antenna 1 UAC". Έτσι, στο πεδίο "Transmit Antenna" συμπληρώνεται η επιλογή "Antenna 1 UAC". Αντίστοιχα, στο πεδίο "Receive Antenna" η κεραία λήψης επιλέγεται όπως και η κεραία εκπομπής.

Τέλος, επιλέγεται το διάγραμμα ακτινοβολίας για την κεραία λήψης και την κεραία εκπομπής του τελικού σταθμού, δηλαδή της πλατφόρμας. Το διάγραμμα αυτό είναι το "Beam", στο οποίο έχει ήδη γίνει αναφορά σε προηγούμενη παράγραφο, και εισάγεται στα πεδία "Receive beam" και "Transmit beam".

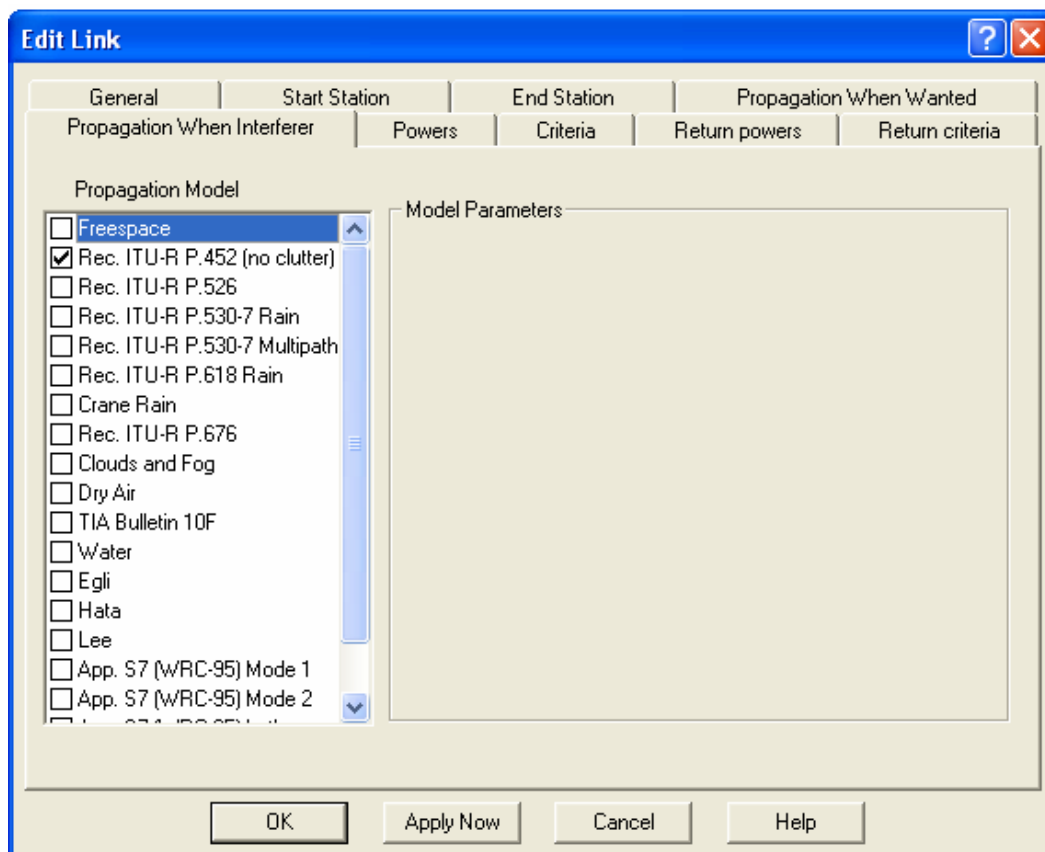


Σχήμα 5.28 Φύλλο Propagation When Wanted της ζεύξης μεταξύ Επίγειου Σταθμού και Πλατφόρμας

Στο φύλλο αυτό επιλέγεται το μοντέλο διάδοσης που θα χρησιμοποιηθεί από το λογισμικό VISUALYSE για το σήμα, όταν αυτό θεωρείται ότι ανήκει σε επιθυμητή ζεύξη και όχι σε ζεύξη που παρεμβάλλει σε άλλο σύστημα.

Δεδομένου ότι η ζεύξη πραγματοποιείται μεταξύ του επίγειου σταθμού και της πλατφόρμας και έχοντας αναλύσει σε προηγούμενο κεφάλαιο τις απώλειες που

υφίσταται το σήμα κατά τη διάδοσή του, επιλέγονται το μοντέλο διάδοσης ελεύθερου χώρου (“Freespace”), το μοντέλο “Rec. ITU-R P.526 ” που αφορά τις απώλειες λόγω περίθλασης και το μοντέλο “Rec. ITU-R P.618 Rain”. Σημειώνεται ότι, στην περίπτωση που συνδυάζονται περισσότερα από ένα μοντέλα διάδοσης του σήματος, οι απώλειες που οφείλονται στο καθένα προστίθενται σε μονάδες dB, προκειμένου να υπολογιστούν οι συνολικές απώλειες.



Σχήμα 5.29 – Φύλλο Propagation When Interferer της ζεύξης μεταξύ Επίγειου Σταθμού και πλατφόρμας

Στο φύλλο αυτό επιλέγεται το μοντέλο διάδοσης που θα χρησιμοποιηθεί από το λογισμικό VISUALYSE για το σήμα, όταν αυτό θεωρείται ότι ανήκει σε ζεύξη που παρεμβάλλει σε άλλο τηλεπικοινωνιακό σύστημα, δυσχεραίνοντας την επιθυμητή ζεύξη.

The image shows a software window titled "Edit Link" with a blue header bar containing a help icon and a close button. The window has a tabbed interface with the following tabs: "General", "Start Station", "End Station", "Propagation When Wanted", "Propagation When Interferer", "Powers", "Criteria", "Return powers", and "Return criteria". The "Powers" tab is currently selected. Inside the "Powers" tab, there are three main sections:

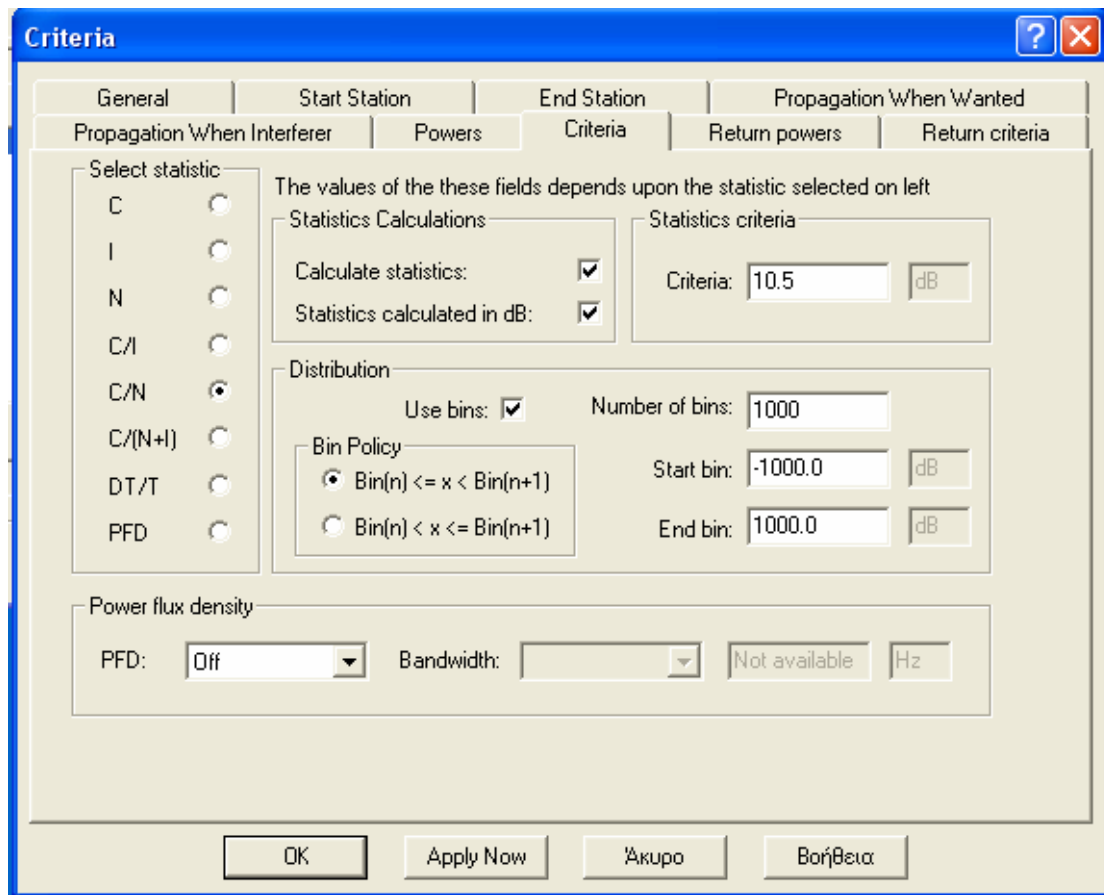
- Power Type:** A group box containing five radio buttons: "Normal" (selected), "Fixed receive", "Power control", "Random", and "Beam Type Random".
- Transmit (power at input to transmit antenna):** A group box containing three input fields: "Maximum transmit power" (value: "Not available", unit: "dBW"), "Nominal transmit power" (value: "-8.2", unit: "dBW"), and "Minimum transmit power" (value: "Not available", unit: "dBW").
- Receive:** A group box containing several input fields and checkboxes:
 - "Receiver noise figure": 2.0 (unit: "dBW")
 - "Calculate System Noise": System Noise: 500.0 (unit: "K")
 - "Calculate Interference": Interference: "Not available" (unit: "dBW")
 - "Fixed receive power": "Not available" (unit: "dBW")
 - "Power control receive level": "Not available" (unit: "dBW")

At the bottom of the window, there are four buttons: "OK", "Apply Now", "Άκυρο", and "Βοήθεια".

Σχήμα 5.30 Φύλλο Powers της ζεύξης μεταξύ Επίγειου Σταθμού και Πλατφόρμας

Στο συγκεκριμένο φύλλο, εισάγονται τιμές σχετικές με την ισχύ του πομπού του επίγειου σταθμού. Ενεργοποιώντας την επιλογή "Normal" στο πεδίο "Power Type", ορίζεται ότι η ισχύς του πομπού θα έχει μία ονομαστική τιμή. Η τιμή αυτή εισάγεται στο πεδίο "Nominal transmit power" και είναι ίση με "-8.2" σύμφωνα με την "Rec. ITU-R F.1500".

Επίσης, από τις προδιαγραφές του συστήματος είναι γνωστό ότι ο συντελεστής θορύβου του δέκτη, δηλαδή της πλατφόρμας, είναι ίσος με "2.0" και η τιμή αυτή εισάγεται στο πεδίο "Receiver Noise Figure" ενώ η θερμοκρασία θορύβου για την άνω ζεύξη είναι η θερμοκρασία θορύβου της πλατφόρμας, δηλαδή 500°K.



Σχήμα 5.31 Φύλλο Criteria της ζεύξης μεταξύ Επίγειου Σταθμού και πλατφόρμας

Το φύλλο Criteria είναι εκείνο, στο οποίο ο χρήστης εισάγει τα δεδομένα που χρειάζονται, προκειμένου να μπορεί να γίνει η μελέτη και η στατιστική ανάλυση του σήματος στο τμήμα της ζεύξης από τον αρχικό προς τον τελικό σταθμό.

Από το πεδίο “Select Statistic” επιλέγεται κάποια από τις παραμέτρους, της οποίας τη συμπεριφορά θέλει να μελετήσει ο χρήστης. Στο σχήμα που φαίνεται στη συγκεκριμένη περίπτωση, επιλεγμένο είναι το μέγεθος “C/N”, αφού το κριτήριο του σηματοθορυβικού λόγου που χρησιμοποιείται για να ελεγχθεί η αξιοπιστία της άνω ζεύξης και η ικανότητα της να παρέχει συγκεκριμένες υπηρεσίες αναφέρεται στο συγκεκριμένο λόγο. Ενεργοποιώντας τις επιλογές “Calculate Statistics” και “Statistics calculated in dB”, το λογισμικό πραγματοποιεί στατιστική μελέτη για την επιλεγείσα παράμετρο, υπολογίζοντας τα διάφορα μεγέθη σε μονάδες dB. Στο πεδίο “Statistics Criteria” εισάγεται η τιμή του εκάστοτε κριτηρίου, το οποίο ο χρήστης θέλει να ελέγξει. Στην περίπτωση της άνω ζεύξης, και όπως θα εξηγηθεί σε επόμενο κεφάλαιο, η τιμή για το κριτήριο C/N έτσι ώστε να είναι ικανή η μετάδοση δεδομένων τίθεται ίση με “10.5 dB”.

Στο πεδίο “Distribution” εισάγονται παράμετροι, που καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο συλλέγονται τα στατιστικά στοιχεία από το VISUALYSE, ώστε να μπορούν να παραχθούν από το λογισμικό η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας και η συνάρτηση κατανομής μίας παραμέτρου που μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Συγκεκριμένα, το λογισμικό κάνει χρήση των λεγόμενων bins,

δηλαδή ορίζει συγκεκριμένα επίπεδα τιμών μέσα σε ένα διάστημα τιμών και καταχωρεί σε αυτά τις μετρηθείσες τιμές της επιλεγείσας παραμέτρου. Στο συγκεκριμένο φύλλο για παράδειγμα, το οποίο φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, το συνολικό διάστημα τιμών είναι από “-1000 dB” (“Start bin”) έως “1000 dB” (“End bin”) και για τη στατιστική μελέτη του λόγου C/N χρησιμοποιούνται συνολικά “1000” bins, όπως φαίνεται στο πεδίο “Number of bins”. Έτσι, στη λήξη της προσομοίωσης, μπορεί να μελετηθεί η συχνότητα εμφάνισης των διάφορων τιμών του λόγου C/N, μέσω του πλήθους των τιμών που θα έχουν καταχωρηθεί στο εκάστοτε bin.

Το τελευταίο πεδίο, που αναφέρεται στην πυκνότητα ισχύος “Power Flux Density”, διατηρεί την προκαθορισμένη του τιμή “Off”, αφού δε χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.

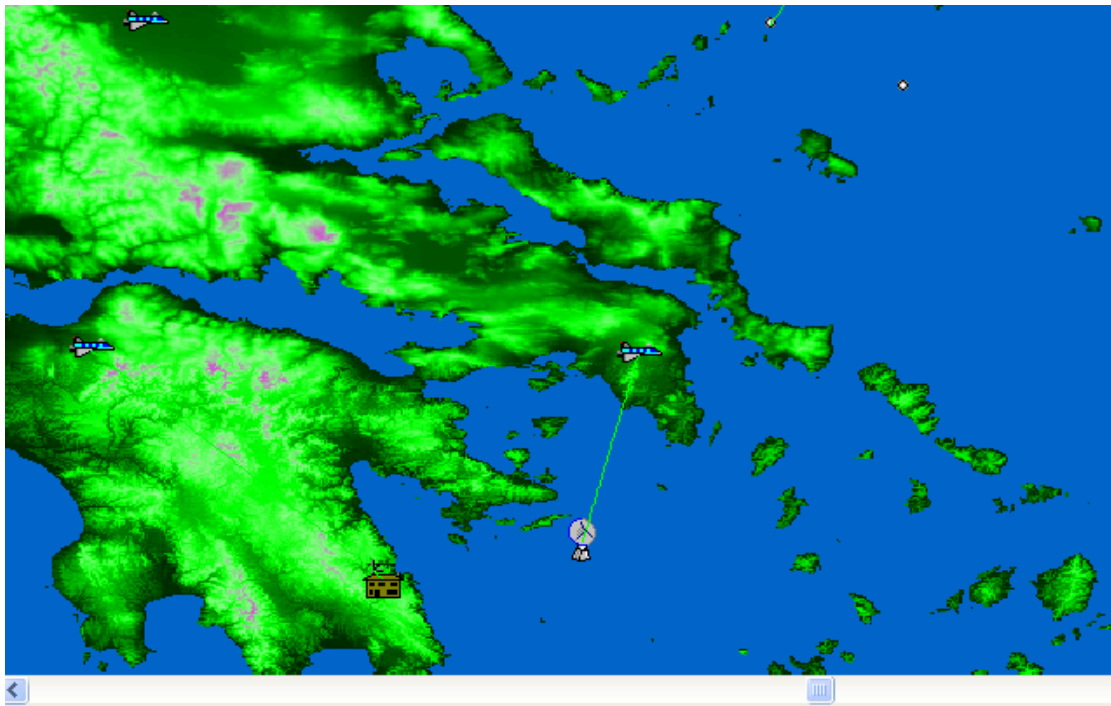
Σχήμα 5.32 Φύλλο Return Powers της ζεύξης μεταξύ Επίγειου Σταθμού και Πλατφόρμας

Σε αντιστοιχία με το φύλλο Powers, σε αυτό το φύλλο εισάγονται τιμές σχετικές με την ισχύ του πομπού του τελικού σταθμού της ζεύξης, δηλαδή της πλατφόρμας. Η ονομαστική ισχύς του πομπού είναι ίση με “1.3 dBW” και εισάγεται στο πεδίο “Nominal transmit power”.

Ο συντελεστής θορύβου του δέκτη αυτού του τμήματος της ζεύξης, δηλαδή του επίγειου σταθμού, είναι ίσος με “2” και η τιμή αυτή εισάγεται στο πεδίο Receiver Noise Figure”. Ο θόρυβος στην είσοδο του δέκτη είναι γνωστός και δε χρειάζεται να υπολογιστεί από το VISUALYSE. Έτσι, στο πεδίο “System Noise” εισάγεται η τιμή “900°K”

5.10 Χρήση ψηφιακού χάρτη

Το Visualyse παρέχει επίσης την δυνατότητα χρησιμοποίησης έτοιμων ψηφιακών χαρτών. Οι χάρτες αυτοί περιέχουν αρκετά στοιχεία για την μορφολογία του εδάφους. Η διαχείριση των χαρτών γίνεται από το μενού Terrain Manager. Στο σχήμα 5.33 φαίνονται οι σταθμοί και οι ζεύξεις (με μια γραμμή) που δημιουργήσαμε έως τώρα, μετά και από την εισαγωγή και του ψηφιακού χάρτη.



Σχήμα 5.33 Απεικόνιση των σταθμών με χρήση του ψηφιακού χάρτη

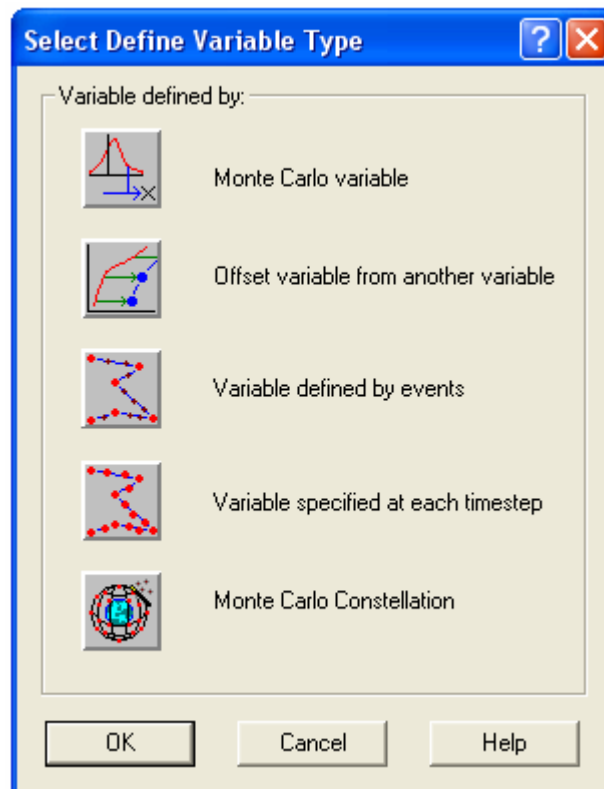
5.11 Μεταβλητές – Variables

Κατά τη μελέτη των προσομοιώσεων, πολύ συχνά είναι χρήσιμο κάποια από τις παραμέτρους του προβλήματος να μεταβάλλονται με τυχαίο τρόπο. Κάτι τέτοιο δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να μελετήσει τη συμπεριφορά ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος σε συνθήκες όχι σταθερές, αλλά μεταβλητές, και στη συνέχεια να επεξεργαστεί με στατιστικό τρόπο τα διάφορα αποτελέσματα που προκύπτουν και τον ενδιαφέρουν.

Το VISUALYSE προσφέρει στο χρήστη διάφορους τρόπους ορισμού μεταβλητών, οι οποίοι αναφέρονται ακολούθως:

- **Monte Carlo variable** - Χρησιμοποιώντας τη Monte Carlo κατανομή μπορεί να οριστεί η μέση τιμή (“mean”) της παραμέτρου και η διακύμανσή της (“variance”) γύρω από αυτή. Ο χρήστης μπορεί επίσης να καθορίσει το είδος της κατανομής (“distribution”) που θα ακολουθεί η επιλεγμένη μεταβλητή. Οι επιλογές για την κατανομή, οι οποίες του παρέχονται είναι:
 - Linear
 - Triangular
 - Normal
 - Poisson
 - Log normal
 - Erlang
 - Exponential
 - Gamma
 - Rayleigh
 - Table
- **Offset variable from another variable** – Με τη συγκεκριμένη επιλογή, η τιμή μίας παραμέτρου προκύπτει από μία άλλη παράμετρο σαν αποτέλεσμα μίας πράξης πρόσθεσης ή πολλαπλασιασμού.
- **Variable defined by events** – Ορίζονται από το χρήστη τιμές, τις οποίες λαμβάνει η παράμετρος σε επιλεγμένες χρονικές στιγμές της προσομοίωσης.
- **Variable specified at each timestep** – Ορίζονται από το χρήστη τιμές, τις οποίες λαμβάνει η παράμετρος κάθε χρονική στιγμή λήψης μετρήσεων των μεγεθών που μελετώνται κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.
- **Monte Carlo constellation** – Χρησιμοποιείται στην περίπτωση ανάλυσης συστήματος με αστερισμό δορυφόρων.

Το παράθυρο με το οποίο ο χρήστης επιλέγει τον τύπο της μεταβλητής που θα χρησιμοποιήσει φαίνεται ακολούθως:



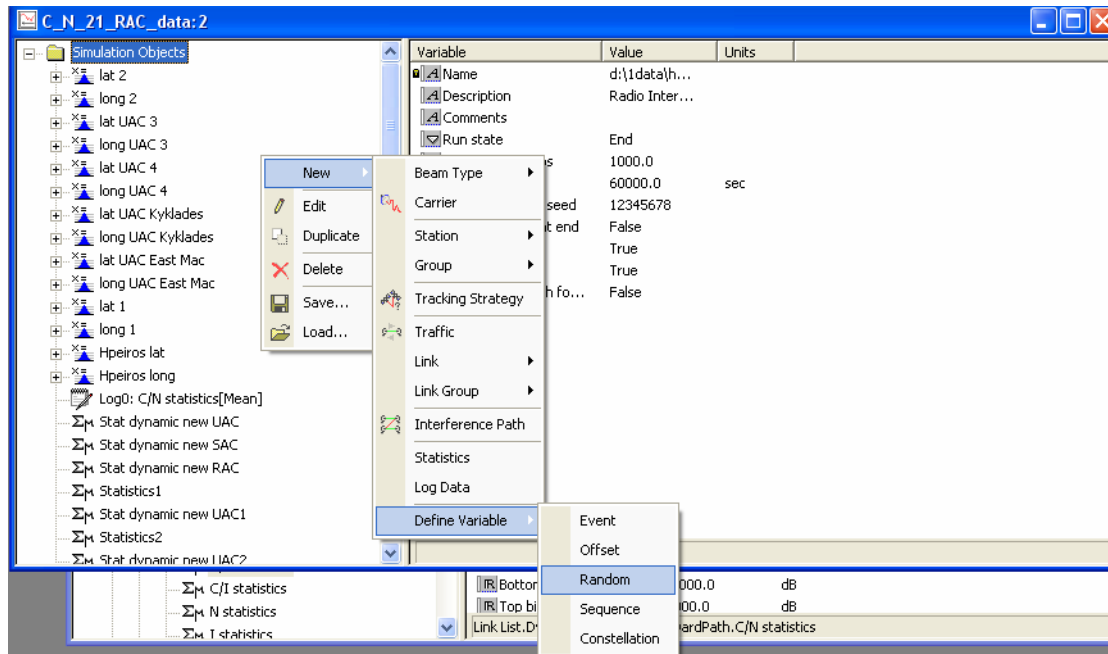
Σχήμα 5.34 Παράθυρο επιλογής τύπου μεταβλητής

5.11.1 Μεταβολή θέσης επίγειου σταθμού με κατανομή Monte Carlo

Με βάση την κατανομή αυτήν μπορούμε να αλλάζουμε με τυχαίο τρόπο κάποια παράμετρο ενός στοιχείου, κατά την διάρκεια της προσομοίωσης. Στις περισσότερες των περιπτώσεων των σεναρίων που εκτελέσαμε, καθώς και στο παράδειγμα που μελετάμε, χρησιμοποιήσαμε την τυχαία κατανομή Monte Carlo για να αλλάζουμε με τυχαίο τρόπο την θέση του σταθμού για τον οποίο μελετάμε τη ζεύξη με την πλατφόρμα. Η περιοχή μέσα στην οποία θα λαμβάνει τυχαίες θέσεις το τερματικό καθορίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε οι γωνίες ανύψωσης του τερματικού προς την στρατοσφαιρική πλατφόρμα να κυμαίνονται μεταξύ 5° και 90° , όσο είναι και οι γωνίες ανύψωσης της περιοχής κάλυψης.

Η χρησιμότητα της Monte Carlo κατανομής βασίζεται στο γεγονός ότι μας επιτρέπει να αλλάζουμε την θέση του σταθμού με τυχαίο τρόπο μέσα σε μια προκαθορισμένη περιοχή. Έτσι μελετάμε το σηματοθορυβικό λόγο της ζεύξης, καθώς ο επίγειος σταθμός λαμβάνει τυχαίες θέσεις κατά την διάρκεια της προσομοίωσης.

Στο παράδειγμα μας η κατανομή Monte Carlo αφορά δύο παραμέτρους του επίγειου τερματικού δέκτη, το γεωγραφικό του μήκος και το γεωγραφικό του πλάτος. Άρα χρειαζόμαστε δύο τυχαίες μεταβλητές για τις δύο συντεταγμένες του τερματικού. Για να δημιουργήσουμε μια τυχαία μεταβλητή που να ακολουθεί κατανομή Monte Carlo πατάμε δεξί κλικ στο αριστερό μέρος του Object Explorer και στην συνέχεια New -> Define Variable -> Random, όπως και στο σχήμα 5.35. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένα καινούργιο στοιχείο με το όνομα Define Variable. Πατώντας διπλό κλικ πάνω σε αυτό καθορίζουμε την μεταβλητή αυτήν. Στα σχήματα 5.36.α και 5.36.β φαίνεται το μενού διαμόρφωσης της τυχαίας αυτής μεταβλητής.



5.35 Δημιουργία τυχαίας μεταβλητής που ακολουθεί κατανομή Monte Carlo

Με σκοπό την τυχαία μεταβολή της θέσης ενός επίγειου σταθμού εντός μίας περιοχής με καθορισμένα όρια, δημιουργούνται δύο μεταβλητές τύπου **Monte Carlo** για τις παραμέτρους “Latitude” και “Longitude” του σταθμού, που αντιστοιχούν στο γεωγραφικό πλάτος και μήκος. Η κατανομή μέσω του πεδίου “Distribution” επιλέγεται να είναι “Linear”, δηλαδή γραμμική. Ορίζεται τέλος η μέση τιμή (“Mean”) και η διακύμανση (“Variance”) της κάθε παραμέτρου.

Στα σχήματα που ακολουθούν, φαίνονται οι συγκεκριμένες τιμές που επιλέχθηκαν προκειμένου ο επίγειος σταθμός να κινείται εντός των ορίων μίας καθορισμένης κυκλικής περιοχής με ακτίνα όσο περίπου η ακτίνα της RAC περιοχής για πλατφόρμα τοποθετημένη στα 21km.

The dialog box is titled "Define Monte Carlo Variable". It contains the following fields and controls:

- Name:** lat 1
- Description:** Description
- Distribution:** Linear
- Transformation:** None
- Mean:** 38.039063 deg
- Variance:** 1.3 deg
- Path:** d:\1data\haps\c_n\c_n_21\c_n_21_rac_data.sim:Station List.Earth station 1.Start LatLongHeight[Latitude]
- Buttons:** Variable..., Edit CDF..., OK, Apply Now, Cancel, Help

Σχήμα 5.36 Φύλλο ορισμού μεταβλητής Monte Carlo για το γεωγραφικό πλάτος

The dialog box is titled "Define Monte Carlo Variable". It contains the following fields and controls:

- Name:** long 1
- Description:** Description
- Distribution:** Linear
- Transformation:** None
- Mean:** 23.835938 deg
- Variance:** 1.3 deg
- Path:** d:\1data\haps\c_n\c_n_21\c_n_21_rac_data.sim:Station List.Earth station 1.Start LatLongHeight[Longitude]
- Buttons:** Variable..., Edit CDF..., OK, Apply Now, Cancel, Help

Σχήμα 5.37 Φύλλο ορισμού μεταβλητής Monte Carlo για το γεωγραφικό μήκος

5.12 Γραφήματα

Με τη βοήθεια του VISUALYSE είναι δυνατό, όπως σημειώθηκε στην εισαγωγή του κεφαλαίου, ο χρήστης να κατασκευάσει γραφήματα, προκειμένου να μελετηθεί γραφικά η συμπεριφορά κάποιων μεγεθών. Συγκεκριμένα, υπάρχουν τρεις κατηγορίες γραφημάτων που μπορούν να δημιουργηθούν με τη βοήθεια του λογισμικού:

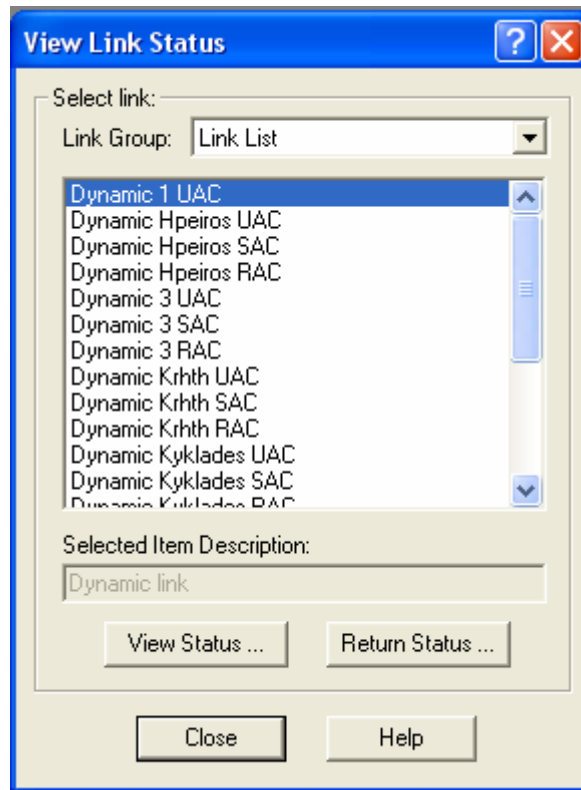
- **QuickGraph** : Πρόκειται για τη γραφική παράσταση μίας παραμέτρου σε συνάρτηση με το χρόνο.
- **Statistics Graph** : Επιτρέπει τη δημιουργία Αθροιστικής Συνάρτησης Κατανομής (Cumulative Distribution Function – CDF) και Συνάρτησης Πυκνότητας Πιθανότητας (Probability Distribution Function – PDF) για μία παράμετρο.
- **XY Graph** : Επιτρέπει τη δημιουργία γραφημάτων, στα οποία φαίνεται η μεταβολή ενός μεγέθους σε συνάρτηση με κάποιο άλλο. Αυτού του είδους το γράφημα θα μπορούσε για παράδειγμα να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να απεικονιστεί το αζιμούθιο μίας κεραίας, η οποία πραγματοποιεί ανίχνευση (tracking) δορυφόρου, σαν συνάρτηση της γωνίας ανύψωσής της.

5.13 Εκτέλεση προσομοίωσης και εξαγωγή αποτελεσμάτων

Έχοντας περατώσει με επιτυχία όλα τα παραπάνω βήματα, είμαστε πλέον σε θέση να εκτελέσουμε την προσομοίωση του σεναρίου και να μελετήσουμε τις παρεμβολές που δέχεται το τερματικό της προς τα κάτω ζεύξης του στρατοσφαιρικού συστήματος, από την επίγεια μικροκυματική ζεύξη.

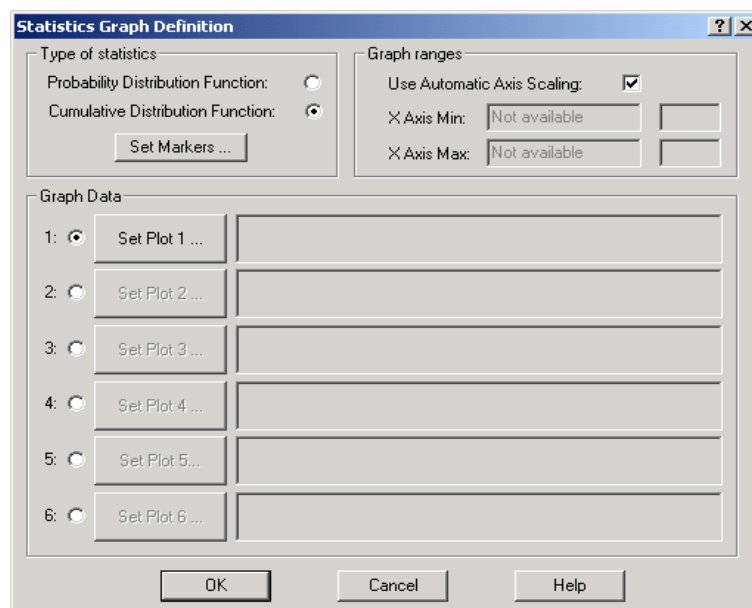
Για να εκτελέσουμε την προσομοίωση πατάμε Run -> Go interactive, όπου μπορούμε να παρακολουθούμε την εξέλιξη της προσομοίωσης με τον χρόνο, ή να πατήσουμε Run -> Go non-interactive, όπου η προσομοίωση εκτελείται χωρίς να παρακολουθούμε σε πραγματικό χρόνο την εξέλιξη της.

Για την μελέτη των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης το Visualyse διαθέτει ορισμένα εργαλεία που το επιτρέπουν αυτό, όπως γραφικές παραστάσεις. Μετά το πέρας της προσομοίωσης μπορούμε να δούμε τα επίπεδα παρεμβολής που ταλαιπώρησαν την ζητούμενη ζεύξη. Πατώντας Analysis -> Link Status εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο του σχήματος 5.38, από όπου επιλέγουμε την ζεύξη που μας ενδιαφέρει, στην περίπτωση μας την ζεύξη Dynamic 1 UAC και στην συνέχεια πατάμε το View Status... όπου μπορούμε να δούμε κάποια χρήσιμα στατιστικά στοιχεία για τα επίπεδα παρεμβολής που δέχτηκε η ζητούμενη ζεύξη, κατά την διάρκεια της προσομοίωσης.



Σχήμα 5.38 Επιλογή της ζητούμενης ζεύξης της οποίας θέλουμε να δούμε τα στατιστικά των παρεμβολών που δέχτηκε κατά την διάρκεια της προσομοίωσης

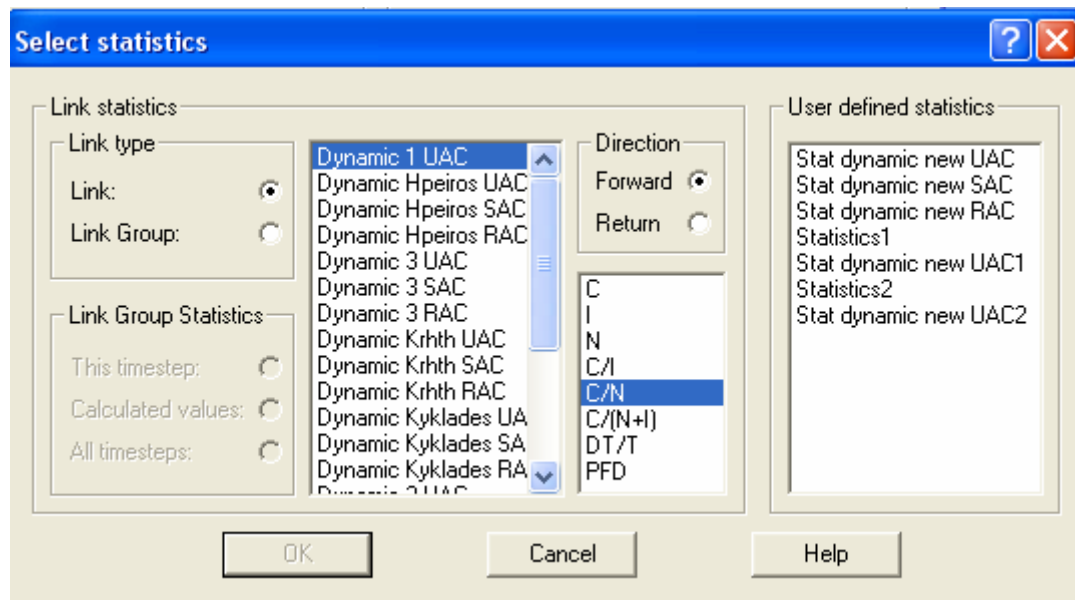
Εκτός όμως από την παραπάνω εφαρμογή, μπορούμε να δούμε και κάποιες γραφικές παραστάσεις για την προς τα κάτω ζεύξη του συστήματος HAPS. Πατώντας Analysis -> Graph Statistics βγαίνουμε στην παρακάτω οθόνη.



Σχήμα 5.39 Δημιουργία γραφικής παράστασης για την μελέτη της ζητούμενης ζεύξης

Το Visualyse προσφέρει δύο ειδών γραφικές παραστάσεις, την Συσσωρευτική Συνάρτηση Διανομής (Cumulative Distribution Function – CDF) και την Πιθανοτική Συνάρτηση Διανομής (Probability Distribution Function – PDF). Η πρώτη γραφική παράσταση (η CDF) απεικονίζει το ποσοστό των τυχαίων θέσεων, που λαμβάνει ο σταθμός που παρεμβάλλεται κατά την διάρκεια της προσομοίωσης, σε συνάρτηση με το επίπεδο παρεμβολής που ο σταθμός αυτός δέχεται. Δηλαδή άξονα ψ απεικονίζεται το ποσοστό από τις συνολικές θέσεις που θα λάβει το επίγειο τερματικό, για ένα συγκεκριμένο επίπεδο παρεμβολής και στον άξονα χ φαίνεται το αντίστοιχο μέγεθος της παρεμβολής. Η δεύτερη γραφική παράσταση (η PDF) απεικονίζει στο άξονα ψ τον αριθμό των περιπτώσεων όπου ο παρεμβαλλόμενος σταθμός, που στο συγκεκριμένο παράδειγμα είναι το επίγειο τερματικό, δέχεται μια συγκεκριμένη τιμή παρεμβολής και στον άξονα χ την αντίστοιχη τιμή της παρεμβολής.

Αφού επιλέξουμε την συνάρτηση που μας ενδιαφέρει στην συνέχεια πατάμε το Set Plot 1... και επιλέγουμε το μέγεθος και την ζεύξη την οποία θέλουμε να μελετήσουμε, όπως ακριβώς στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 5.40 Επιλογή ζεύξης για την απεικόνιση στην γραφική παράσταση

Εκτός από αυτές τις δύο γραφικές παραστάσεις το Visualyse προσφέρει την δυνατότητα να δημιουργήσουμε άλλες δύο γραφικές παραστάσεις, όπου απεικονίζουν την μεταβολή ενός μεγέθους της προσομοίωσης σε συνάρτηση με τον χρόνο της προσομοίωσης (Analysis -> Quick Graph...), ή την μεταβολή ενός μεγέθους σε συνάρτηση με κάποιο άλλο (Analysis -> XY Graph...). Παρακάτω ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις CDF και PDF μετά το τέλος της προσομοίωσης του παραδείγματος που μελετήσαμε.

Οι δυνατότητες του προγράμματος βεβαίως δεν περιορίζονται μόνο σε αυτές που μόλις παρουσιάσαμε. Η ρεαλιστικότητα και η αξιοπιστία του επιτρέπουν την

διεξαγωγή πολύπλοκων σεναρίων, τα οποία βασίζονται σε πραγματικά δεδομένα. Μάλιστα τα αποτελέσματα που δίνει το Visualyse είναι άκρως αντικειμενικά. Η περαιτέρω ενασχόληση με το πρόγραμμα και η εμπειρία που αποκτά ο χρήστης με τον καιρό, του προσφέρει ακόμα μεγαλύτερες δυνατότητες για την διεξαγωγή ολοένα και πιο ρεαλιστικών σεναρίων, αφού η ευκαμψία και η προσαρμοστικότητα του προγράμματος στις απαιτήσεις του χρήστη είναι πραγματικά τεράστιες.

Η παραπάνω παρουσίαση του σεναρίου παρεμβολής, παρόλο που φαντάζει απλή και ίσως και χωρίς καμία ουσία, είναι μια πολύ καλή πρώτη επαφή με το πρόγραμμα και τις δυνατότητες του και έχει σκοπό να βοηθήσει όλους όσους ενασχοληθούν μελλοντικά με το Visualyse.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

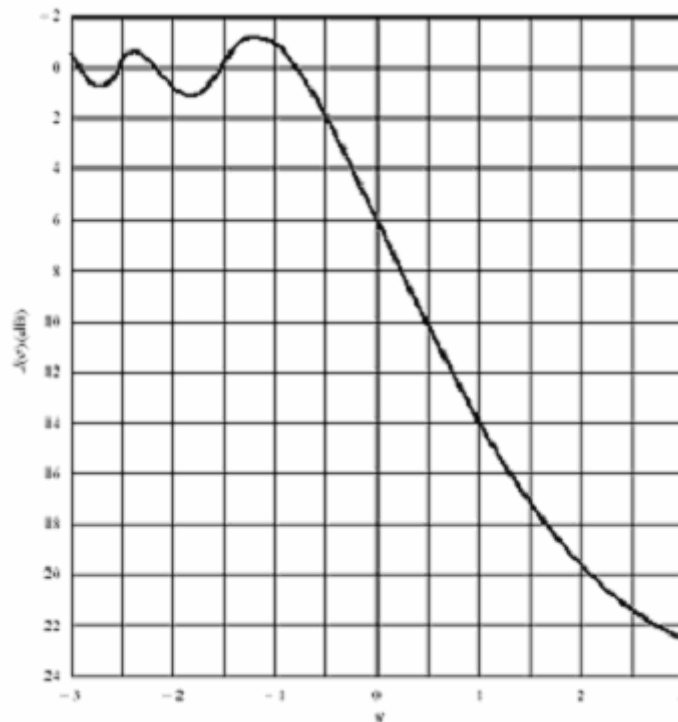
ΡΑΔΙΟΚΑΛΥΨΗ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ LOS

6.1 Εισαγωγή

Στο παρών κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε θεωρητικά όλα τα σενάρια ραδιοκάλυψης της Ελλάδας και θα μελετήσουμε την ύπαρξη οπτικής επαφής μεταξύ των στρατοσφαιρικών πλατφορμών που τοποθετήσαμε και των επίγειων σταθμών, οι οποίοι κινούνται στα όρια των περιοχών κάλυψης των πλατφορμών.

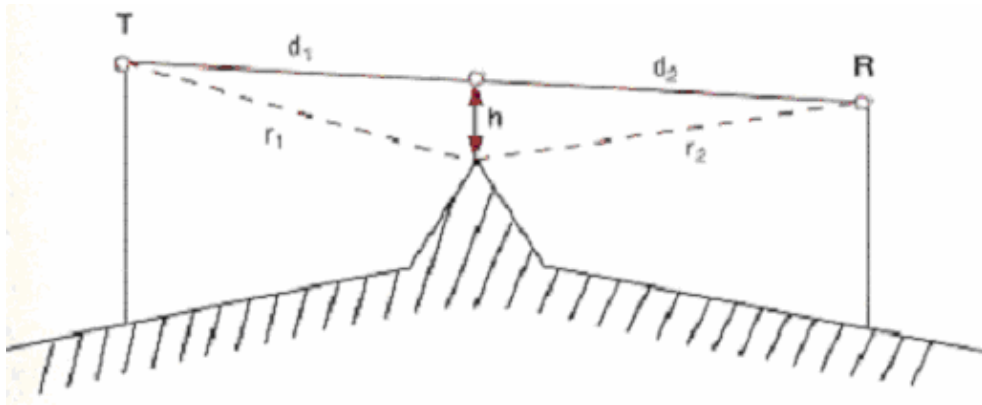
Για την ικανοποιητική επικοινωνία, στις πολύ υψηλές συχνότητες, είναι αναγκαία η ύπαρξη ζεύξης οπτικής επαφής (LOS - Line of Sight) ανάμεσα στην πλατφόρμα και στον επίγειο σταθμό. Δεδομένου ότι τα συστήματα αυτά θα παρέχουν υπηρεσίες σε μητροπολιτικές περιοχές ή και σε υπαίθριες μεγάλες περιοχές, η πλήρης ικανοποίηση ενός τέτοιου κριτηρίου είναι πολύ δύσκολη υπόθεση. Για να ελεγχθεί αν μια ασύρματη ζεύξη ικανοποιεί την απαίτηση για ζεύξη οπτικής επαφής ή όχι, χρησιμοποιείται ένα άλλο κριτήριο, που καθορίζει αν μια ασύρματη ζεύξη θα λειτουργεί ικανοποιητικά ή όχι. Αυτό το κριτήριο έχει να κάνει με τις ζώνες Fresnel.

Χρησιμοποιώντας τη θεωρία σκέδασης του Fresnel η οποία έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, διάφορες προσεγγιστικές εκφράσεις έχουν διατυπωθεί για τον υπολογισμό του συντελεστή απόσβεσης λόγω ενός εμποδίου με αναφορά στη διάδοση ελευθέρου χώρου. Συγκεκριμένα, στο επόμενο διάγραμμα σχεδιάζεται ο συντελεστής απόσβεσης σαν συνάρτηση του λόγου h/h_1 όπου h_1 η καθαρότητα για την πρώτη ζώνη Fresnel.

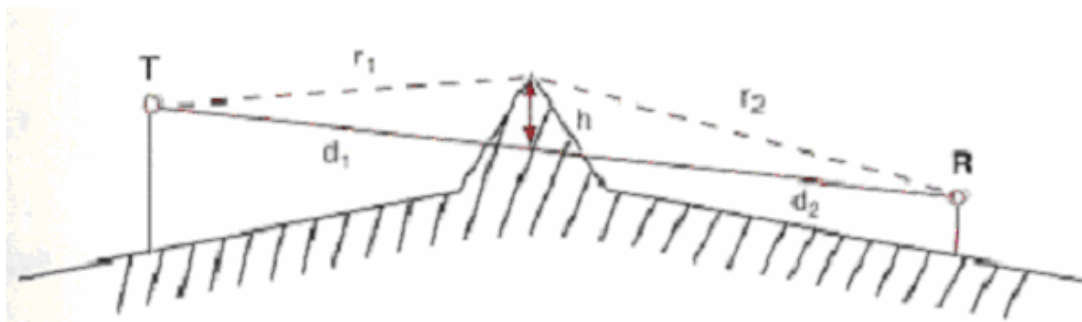


Διάγραμμα 6.1 Απώλεια περίθλασης αιχμής συναρτήσει του λόγου h/h_1

Όπως φαίνεται, όταν το ύψος του εμποδίου είναι ακριβώς πάνω στην οπτική ευθεία ζεύξεως, τότε υπάρχει απώλεια 6 dB σε σχέση με τη διάδοση του ελευθέρου χώρου. Καθώς το εμπόδιο υπερβαίνει την οπτική ευθεία ζεύξεως (αρνητικές τιμές του λόγου h/h_1), η απώλεια διάδοσης αυξάνει ταχύτατα ενώ όταν η κορυφή του εμποδίου είναι κάτω από αυτή την ευθεία (θετικές τιμές του λόγου h/h_1), η απώλεια τείνει στο μηδέν και ταλαντεύεται γύρω στο ± 1 dB. Το σήμα που λαμβάνεται στο δέκτη έχει πλάτος πολύ κοντά στην τιμή του ελευθέρου χώρου, δηλαδή σχεδόν μηδενικές απώλειες λόγω περίθλασης, αν η κορυφή του εμποδίου είναι κάτω από την ευθεία ζεύξεως κατά ένα μέγεθος h έτσι ώστε $h/h_1 > 1$. Ως εκ τούτου, επιβεβαιώνεται από αυτή την ανάλυση ότι κύριος σκοπός μίας τηλεπικοινωνιακής ζεύξης είναι η τοποθέτηση του πομπού και δέκτη σε τέτοια ύψη, ώστε να υπάρχει καθαρότητα τουλάχιστον για την πρώτη ζώνη Fresnel.



Σχήμα 6.1 - Εμπόδιο κάτω από την οπτική ευθεία ζεύξεως



Σχήμα 6.2 - Εμπόδιο πάνω από την οπτική ευθεία ζεύξεως

Θέλοντας λοιπόν εμείς να υπολογίσουμε το LOS (Line Of Sight) μιας πλατφόρμας στην περιοχή κάλυψής της, μας ενδιαφέρει το πότε κάποιο εμπόδιο παρεμβάλλεται της οπτικής επαφής της πλατφόρμας και του επίγειου σταθμού. Σύμφωνα με τα παραπάνω λοιπόν, όταν από την προσομοίωση στο Visualyse προκύπτουν απώλειες λόγω περίθλασης αρκετά μεγαλύτερες των 6dB , συμπεραίνουμε πως είναι πολύ πιθανό κάποιο εμπόδιο παρεμβάλλεται της οπτικής επαφής της πλατφόρμας και του επίγειου σταθμού, με αποτέλεσμα να μην έχουμε οπτική επαφή.

Τις περισσότερες φορές όμως ενδέχεται ανάμεσα στον πομπό και στο δέκτη να υπάρχουν πολλά εμπόδια, εκ των οποίων το ψηλότερο να βρίσκεται στην ευθεία οπτικής επαφής ενώ πολλά από τα υπόλοιπα να είναι μεν αρκετά ψηλά, όχι όμως τόσο ώστε η κορυφή τους να διέρχεται από την ευθεία οπτικής επαφής. Αυτά τα λιγότερο ψηλά εμπόδια προκαλούν με τη σειρά τους απώλειες λόγω περίθλασης οι οποίες προστίθενται στην τιμή των απωλειών του υψηλότερου εμποδίου με

αποτέλεσμα να είναι δυνατό οι απώλειες στο σήμα μας λόγω περίθλασης να είναι μεγαλύτερες από 6dB και όμως να υπάρχει οπτική επαφή. Λόγω της ύπαρξης λοιπόν περισσότερων του ενός εμποδίου μεταξύ πομπού και δέκτη, πρέπει εμείς να καθορίσουμε το δικό μας κατώφλι σε απώλειες λόγω περίθλασης έτσι ώστε σε περίπτωση υπέρβασής του να είμαστε σίγουροι ότι δεν υπάρχει οπτική επαφή ανάμεσα στην πλατφόρμα και στον επίγειο σταθμό.

Σύμφωνα με τη σύσταση P.526-7 της ITU, έχει αναπτυχθεί μία μεθοδολογία για τον υπολογισμό των απωλειών λόγω περίθλασης που οφείλονται στην παρεμβολή πολλαπλών εμποδίων μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Με βάση αυτή τη μεθοδολογία, αρχικά βρίσκεται η βασική κορυφή μεταξύ πομπού και δέκτη, δηλαδή το ψηλότερο εμπόδιο. Θεωρώντας μόνο τη βασική κορυφή, υπολογίζονται οι απώλειες λόγω περίθλασης $J(V_p)$ που οφείλονται στην ύπαρξη μόνο αυτού του εμποδίου. Στη συνέχεια η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για τα εμπόδια που παρεμβάλλονται του πομπού και της βασικής κορυφής καθώς και για τα εμπόδια που βρίσκονται ανάμεσα στη βασική κορυφή και το δέκτη. Από αυτά που αναφέραμε συνοπτικά παραπάνω, προκύπτουν αντίστοιχα οι απώλειες $J(V_t)$ και $J(V_r)$.

Οι συνολικές απώλειες λόγω περίθλασης δίνονται από την ακόλουθη σχέση:

$$L=J(V_p)+T[J(V_t)+J(V_r) + C], \quad (6.1)$$

όπου $C=8+0.04D$,

D: η απόσταση του πομπού και του δέκτη, και

$$T=1.0-\exp[-J(V_p)/6.0].$$

V_p : οι απώλειες όταν το ύψος του εμποδίου είναι ίσο με το ύψος του επιπέδου της οπτικής επαφής, δηλ. 6dB,

$J(V_t)$: οι απώλειες λόγω των εμποδίων που βρίσκονται ανάμεσα στον πομπό και στο ψηλότερο εμπόδιο και

$J(V_r)$: οι απώλειες λόγω των εμποδίων που βρίσκονται ανάμεσα στο ψηλότερο εμπόδιο και στο δέκτη

Για να εξετάσουμε την ύπαρξη οπτικής επαφής μεταξύ πομπού και δέκτη θεωρούμε πρώτον πως υπάρχει ένα εμπόδιο ανάμεσα τους, του οποίου το ύψος είναι το πολύ τόσο ώστε αυτό να φτάνει στην ευθεία οπτικής επαφής πομπού και δέκτη και πως επίσης δεν υπάρχει άλλο εμπόδιο με ύψος μεγαλύτερο του κυρίως εμποδίου. Επομένως, δεδομένου ότι για να υπάρχει οπτική επαφή, η κορυφή του εμποδίου πρέπει να διέρχεται από την ευθεία οπτικής επαφής, ή αλλιώς να βρίσκεται χαμηλότερα, οι μέγιστες απώλειες λόγω περίθλασης προκύπτουν κατά την πρώτη περίπτωση και υπολογίζονται από το παραπάνω διάγραμμα $J(V_p) = 6.0\text{Db}$

Επίσης οι απώλειες $J(V_t)$ και $J(V_r)$ θα κυμαίνονται πολύ κοντά στο μηδέν, μιας και τα υπόλοιπα εμπόδια βρίσκονται κάτω από την ευθεία οπτικής επαφής και δεν επηρεάζουν την πρώτη ζώνη Fresnel. Σύμφωνα με τα παραπάνω είναι

$$T=1.0-\exp(-1)=0,632120559$$

Με βάση τη σχέση και με τις τιμές των απωλειών που υπολογίσαμε παραπάνω, συμπεραίνουμε πως μεγαλύτερες απώλειες θα έχουμε όταν το C είναι μεγαλύτερο, δηλαδή όταν η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη είναι μεγαλύτερη. Επομένως αν βρούμε για κάθε ζώνη της περιοχής κάλυψης της πλατφόρμας τις απώλειες λόγω περίθλασης που αντιστοιχούν όταν η απόσταση του HAP από τον επίγειο σταθμό είναι η ελάχιστη δυνατή, τότε θα έχουμε υπολογίσει ένα κατώφλι απωλειών πέραν του οποίου δε θα υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη.

Η διαδικασία μελέτης σε όλα τα σενάρια θα είναι παρόμοια. Συγκεκριμένα, στο Visualyse προσομοιώσαμε τρία διαφορετικά σενάρια, τοποθετώντας πλατφόρμες για την ραδιοκάλυψη της Ελλάδας σε τρία διαφορετικά υψόμετρα πάνω από τη θάλασσα.

Στο πρώτο σενάριο τοποθετήσαμε συνολικά 7 πλατφόρμες στο ύψος των 21 km για να καλύψουμε τον ελλαδικό χώρο.

Στο δεύτερο σενάριο χρειάστηκαν να τοποθετηθούν 10 πλατφόρμες έτσι ώστε να καλυφθεί ολόκληρη η Ελλάδα.

Στο τρίτο σενάριο αρκούσαν μόλις 4 πλατφόρμες τοποθετημένες στα 25 km πάνω από τη θάλασσα.

6.1.1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά και επιτρεπόμενες απώλειες λόγω περίθλασης για το πρώτο σενάριο ραδιοκάλυψης

Για το σενάριο των 21 χιλιομέτρων, η μικρότερη δυνατή απόσταση μεταξύ πλατφόρμας και επίγειου σταθμού για τη UAC ζώνη είναι 21km, για την SAC ζώνη είναι από τριγωνομετρία: (Πυθαγόρειο θεώρημα) 41.677km και για την RAC ζώνη είναι 79.33km

Είναι

για τη UAC: $L=6+5.44=11.58$

➤ για την SAC: $L=6+5.82=12.11$

➤ για την RAC: $L=6.5+6=13.06$

	UAC	SAC	RAC
Ελάχιστη απόσταση HAP-επίγειου (km)	21	41.68	79.33
C=8+0.04D	8.84	9.67	11.17
L	11.59	12.11	13.06

Πίνακας 6.1 Κατώφλι απωλειών για τα 21 km

Επομένως καταλήγουμε στο ότι εάν για ένα επίγειο σταθμό που κινείται στη UAC ζώνη οι απώλειες λόγω περίθλασης είναι μεγαλύτερες από 11.59 dB, τότε θεωρούμε πως δεν υπάρχει οπτική επαφή ανάμεσα στην πλατφόρμα και τον επίγειο σταθμό. Το αντίστοιχο κατώφλι απωλειών για την SAC ζώνη είναι 12.1 dB ενώ για την RAC ζώνη είναι 13.06 dB.

6.1.2 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά και επιτρεπόμενες απώλειες λόγω περίθλασης για το δεύτερο σενάριο ραδιοκάλυψης

Για το σενάριο των 15 χιλιομέτρων, η μικρότερη δυνατή απόσταση μεταξύ πλατφόρμας και επίγειου σταθμού για τη UAC ζώνη είναι 15km, για την SAC ζώνη είναι 30km και για την RAC ζώνη είναι 57km

Είναι

για τη UAC: $L=6+5.44=11.44$.

➤ για την SAC: $L=6+5.82=11.82$

➤ για την RAC: $L=6.5+6=12.5$

	UAC	SAC	RAC
Ελάχιστη απόσταση HAP-επίγειου (km)	15	30	57
C=8+0.04D	8.6	9.2	10.28
L	11.44	11.81	12.50

Πίνακας 6.2 Κατώφλι απωλειών για τα 15 km

Επομένως καταλήγουμε στο ότι εάν για ένα επίγειο σταθμό που κινείται στη UAC ζώνη οι απώλειες λόγω περίθλασης είναι μεγαλύτερες από 11.44 dB, τότε δεν υπάρχει οπτική επαφή ανάμεσα στην πλατφόρμα και τον επίγειο σταθμό. Το αντίστοιχο κατώφλι απωλειών για την SAC ζώνη είναι 11.81 dB ενώ για την RAC ζώνη είναι 12.49 dB.

6.1.3 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά και επιτρεπόμενες απώλειες λόγω περίθλασης για το τρίτο σενάριο ραδιοκάλυψης

Για το σενάριο των 25 χιλιομέτρων η μικρότερη δυνατή απόσταση μεταξύ πλατφόρμας και επίγειου σταθμού για τη UAC ζώνη είναι 25km, για την SAC ζώνη είναι 49.74km και για την RAC ζώνη είναι 93.89km

Είναι

για τη UAC: $L=6+5.44=11.68$.

➤ για την SAC: $L=6+5.82=12.31$

➤ για την RAC: $L=6.5+6=13.43$

	UAC	SAC	RAC
Ελάχιστη απόσταση HAP-επίγειου (km)	25	49.74	93.89
C=8+0.04D	9	9.99	11.76
L	11.69	12.31	13.43

Πίνακας 6.3 Κατώφλι απωλειών για τα 25 km

Επομένως καταλήγουμε στο ότι εάν για ένα επίγειο σταθμό που κινείται στη UAC ζώνη οι απώλειες λόγω περίθλασης είναι μεγαλύτερες από 11.68 dB, τότε δεν υπάρχει οπτική επαφή ανάμεσα στην πλατφόρμα και τον επίγειο σταθμό. Το αντίστοιχο κατώφλι απωλειών για την SAC ζώνη είναι 12.31 dB ενώ για την RAC ζώνη είναι 13.42 dB.

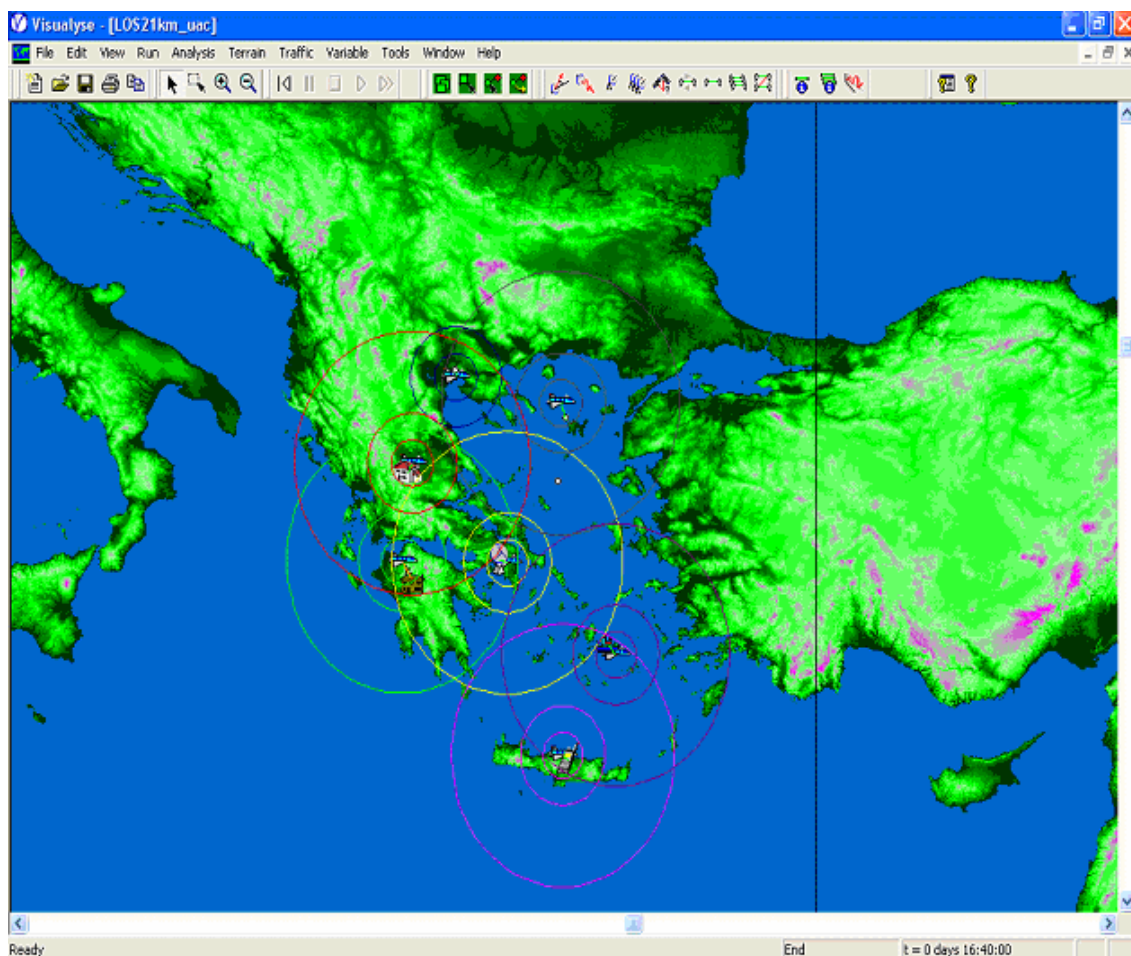
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα σενάρια που προσομοιώσαμε στο Visualyse καθώς και τα αποτελέσματα που προέκυψαν και σχετίζονται με την ύπαρξη οπτικής επαφής μεταξύ πλατφόρμας και επίγειου σταθμού και την εύρεση του ποσοστού Line Of Sight(LOS).

6.2 Σενάριο 1^ο : Ραδιοκάλυψη της Ελλάδας με τις πλατφόρμες τοποθετημένες στα 21 km

Για τη ραδιοκάλυψη της Ελλάδος, με τις πλατφόρμες τοποθετημένες στο ύψος των 21 km , χρειάστηκε να χρησιμοποιήσουμε συνολικά 7 πλατφόρμες, με βασικό σκεπτικό την ύπαρξη πλατφορμών πάνω από τις μεγαλύτερες πόλεις (Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Πάτρα, Ηράκλειο) . Τοποθετήσαμε δηλαδή αρχικά πλατφόρμες πάνω από τις προαναφερθείσες πόλεις και στη συνέχεια καλύψαμε τα κενά που προέκυψαν με στόχο τη βελτιστοποίηση του δικτύου.

Σαν πρώτο βήμα μελετήσαμε ξεχωριστά για κάθε ζώνη της περιοχής κάλυψης της κάθε πλατφόρμας, το ποσοστό των ζεύξεων στις οποίες υπήρχε οπτική επαφή (LOS- Line Of Sight) ανάμεσα στην πλατφόρμα και στον επίγειο σταθμό, καθώς η ύπαρξη οπτικής επαφής μεταξύ πομπού και δέκτη παίζει καθοριστικό ρόλο στις επιδόσεις ζεύξεων που λειτουργούν στις συχνότητες που χρησιμοποιούμε και οι απώλειες λόγω περίθλασης είναι ιδιαίτερα έντονες. Στη μελέτη που κάναμε, ο επίγειος σταθμός κινείτο με τυχαία κατανομή Monte Carlo εντός των ορίων της αντίστοιχης ζώνης που εξετάζαμε.

Στην ακόλουθη εικόνα φαίνεται η ραδιοκάλυψη που προέκυψε. Η περιοχή κάλυψης κάθε πλατφόρμας φαίνεται με διαφορετικό χρώμα.



Σχήμα 6.3 – Ραδιοκάλυψη της Ελλάδας στα 21 km

- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από την Αθήνα έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

Σχήμα 6.4 – Ποσοστό LOS για τη UAC ζώνη – 21 km

Σχήμα 6.5– Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη - 21 km

Edit statistics

General | Criteria | **Statistics**

Statistics on value

Worst: 134.341415 dB when: t = 0 days 02:58:00

Average: 106.432577 dB Standard deviation: 13.715483 dB

Statistics on events

Number steps bad: 26 out of: 1001 = 2.597403 %

Number of events: 26

Longest event: 1 steps when: t = 0 days 00:27:00

Average event length: 1.0 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	0	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.6 – Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη - 21 km

Παρατηρούμε ότι με βάση τα κριτήρια που θέσαμε, στις UAC και SAC ζώνες έχουμε 100% LOS αφού ο μέσος όρος των απωλειών λόγω περίθλασης είναι μηδενικός, ενώ στην RAC ζώνη 97,4% LOS. Συγκεκριμένα σε 26 από τις 1001 θέσεις που πήρε ο σταθμός μέσα στην RAC ζώνη, οι απώλειες λόγω περίθλασης ήταν μεγαλύτερες από το όριο των 13.06 db που θέσαμε για να υπάρχει οπτική επαφή.

- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από τη Θεσσαλονίκη έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

Distribution						
Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	3	0	0	0	0	

Σχήμα 6.7 Ποσοστό LOS για τη UAC ζώνη - 21 km

Bin start value:	Below range	-100.0	-99.8	-99.6	-99.4	dB
Occurrences:	0	0	0	0	0	

Σχήμα 6.8 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη - 21 km

Παρατηρούμε ότι στις UAC και SAC ζώνες έχουμε 100% LOS. Στην πλατφόρμα αυτή δε χρησιμοποιήσαμε κεραία που να εκπέμπει στην RAC ζώνη, γιατί θα κάλυπτε περιοχές που είτε βρίσκονται εκτός Ελλαδικού χώρου, είτε καλύπτονται από κεραίες άλλων πλατφορμών.

- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από την Πάτρα έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

Edit statistics

General | Criteria | Statistics

Statistics on value

Worst: 0.0 dB when: t = 0 days 00:00:00

Average: -0.013035 dB Standard deviation: 0.231926 dB

Statistics on events

Number steps bad: 0 out of: 1001 = 0.0 %

Number of events: 0

Longest event: 0 steps when:

Average event length: 0.0 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	3	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.9 – Ποσοστό LOS για τη UAC ζώνη - 21 km

Edit statistics

General | Criteria | Statistics

Statistics on value

Worst: 108.993702 dB when: t = 0 days 13:30:00

Average: 78.989599 dB Standard deviation: 15.137082 dB

Statistics on events

Number steps bad: 10 out of: 1001 = 0.999001 %

Number of events: 10

Longest event: 1 steps when: t = 0 days 00:44:00

Average event length: 1.0 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-100.0	-99.8	-99.6	-99.4	dB
Occurrences:	0	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.10 – Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη - 21 km

Edit statistics [?] [X]

General | Criteria | Statistics

Statistics on value

Worst: 107.96662 dB when: t = 0 days 07:38:00

Average: 81.529229 dB Standard deviation: 12.914561 dB

Statistics on events

Number steps bad: 52 out of: 1001 = 5.194805 %

Number of events: 50

Longest event: 2 steps when: t = 0 days 00:09:00

Average event length: 1.04 steps

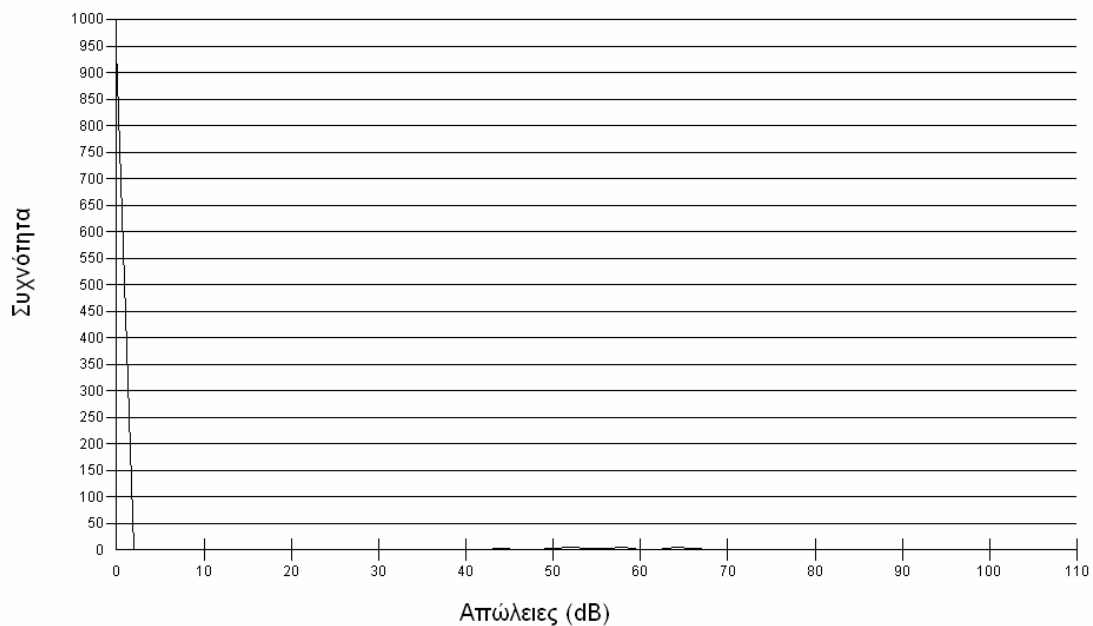
Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	0	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.11 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη - 21 km

Απώλειες λόγω έλλειψης LOS - πλατφόρμα στα 21 km πάνω από την Πάτρα - RAC



Διάγραμμα 6.2 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών λόγω έλλειψης οπτικής επαφής μεταξύ της πλατφόρμας που βρίσκεται 21 km πάνω από την Πάτρα και του επίγειου τερματικού στην RAC ζώνη

Παρατηρούμε ότι στη UAC ζώνη έχουμε 100% LOS, στην SAC ζώνη 99% ενώ στην RAC ζώνη 94,8% LOS. Συγκεκριμένα στην SAC ζώνη σε 10 από τις 1001 θέσεις που πήρε ο σταθμός, οι απώλειες λόγω περίθλασης ήταν μεγαλύτερες από το όριο των 12.11 db που θέσαμε για να υπάρχει οπτική επαφή, ενώ στην RAC ζώνη σε 52 από τις 1001 θέσεις ξεπεράστηκε το αντίστοιχο όριο των 13.06 db.

- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από το Ηράκλειο έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

Distribution						
Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	1	0	0	0	0	

Σχήμα 6.12 Ποσοστό LOS για την UAC ζώνη - 21 km

Edit statistics [?] [X]

General | Criteria | **Statistics**

Statistics on value

Worst: 56.198318 dB when: t = 0 days 03:22:00

Average: 26.224394 dB Standard deviation: 15.107847 dB

Statistics on events

Number steps bad: 2 out of: 1001 = 0.1998 %

Number of events: 2

Longest event: 1 steps when: t = 0 days 00:11:00

Average event length: 1.0 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-100.0	-99.8	-99.6	-99.4	dB
Occurrences:	0	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.13 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη - 21 km

Edit statistics [?] [X]

General | Criteria | **Statistics**

Statistics on value

Worst: 168.958127 dB when: t = 0 days 01:48:00

Average: 138.953787 dB Standard deviation: 15.137312 dB

Statistics on events

Number steps bad: 8 out of: 1001 = 0.799201 %

Number of events: 7

Longest event: 2 steps when: t = 0 days 01:50:00

Average event length: 1.142857 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	0	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.14 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη - 21 km

Παρατηρούμε ότι στη UAC ζώνη έχουμε 100% LOS, στην SAC ζώνη 99,8% ενώ στην RAC ζώνη 99,2% LOS. Συγκεκριμένα στην SAC ζώνη σε 2 από τις 1001 θέσεις που πήρε ο σταθμός, οι απώλειες λόγω περίθλασης ήταν μεγαλύτερες από το όριο των 12.11 db που θέσαμε για να υπάρχει οπτική επαφή, ενώ στην RAC ζώνη σε 9 από τις 1001 θέσεις ξεπεράστηκε το αντίστοιχο όριο των 13.06 db.

- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από τη βορειοανατολική Ελλάδα έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

The screenshot shows the 'Edit statistics' dialog box with the following data:

Category	Value	Unit
Worst	0.0	dB
Average	-23.983741	dB
Standard deviation	12.251941	dB
When	t = 0 days 01:15:00	-
Number steps bad	0	out of 1001 = 0.0 %
Number of events	0	-
Longest event	0	steps when: -
Average event length	0.0	steps

Bin start value	Occurrences
Below range	997
-1000.0	0
-998.0	0
-996.0	0
-994.0	0

Buttons: OK, Apply Now, Close, Βοήθεια

Σχήμα 6.15 Ποσοστό LOS για τη UAC ζώνη - 21 km

Edit statistics [?] [X]

General | Criteria | Statistics

Statistics on value

Worst: 0.0 dB when: t = 0 days 00:00:00

Average: 0.0 dB Standard deviation: 0.0 dB

Statistics on events

Number steps bad: 0 out of: 1001 = 0.0 %

Number of events: 0

Longest event: 0 steps when:

Average event length: 0.0 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-100.0	-99.8	-99.6	-99.4	dB
Occurrences:	0	0	0	0	0	

◀ ▶

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.16 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη - 21 km

Edit statistics [?] [X]

General | Criteria | Statistics

Statistics on value

Worst: 65.569579 dB when: t = 0 days 12:59:00

Average: 38.657725 dB Standard deviation: 12.671514 dB

Statistics on events

Number steps bad: 11 out of: 1001 = 1.098901 %

Number of events: 11

Longest event: 1 steps when: t = 0 days 03:31:00

Average event length: 1.0 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	187	0	0	0	0	

◀ ▶

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.17 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη - 21 km

Παρατηρούμε ότι στις UAC και SAC ζώνες έχουμε 100% LOS, ενώ στην RAC ζώνη 98,9% LOS. Συγκεκριμένα σε 11 από τις 1001 θέσεις που πήρε ο σταθμός μέσα στην RAC ζώνη, οι απώλειες λόγω περίθλασης ήταν μεγαλύτερες από το όριο των 13.06 db που θέσαμε για να υπάρχει οπτική επαφή.

- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από την κεντρική και βορειοδυτική Ελλάδα έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

Edit statistics

General | Criteria | **Statistics**

Statistics on value

Worst: 0.0 dB when: t = 0 days 00:00:00

Average: -0.008686 dB Standard deviation: 0.190191 dB

Statistics on events

Number steps bad: 0 out of: 1001 = 0.0 %

Number of events: 0

Longest event: 0 steps when:

Average event length: 0.0 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	2	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.18 Ποσοστό LOS για την UAC ζώνη - 21 km

Edit statistics [?] [X]

General | Criteria | Statistics

Statistics on value

Worst: 61.765939 dB when: t = 0 days 16:03:00

Average: 34.879049 dB Standard deviation: 13.326313 dB

Statistics on events

Number steps bad: 6 out of: 1001 = 0.599401 %

Number of events: 6

Longest event: 1 steps when: t = 0 days 00:21:00

Average event length: 1.0 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-100.0	-99.8	-99.6	-99.4	dB
Occurrences:	0	0	0	0	0	

◀ ▶

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.19 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη - 21 km

Edit statistics [?] [X]

General | Criteria | Statistics

Statistics on value

Worst: 123.762662 dB when: t = 0 days 08:00:00

Average: 94.318475 dB Standard deviation: 14.610932 dB

Statistics on events

Number steps bad: 53 out of: 1001 = 5.294705 %

Number of events: 51

Longest event: 2 steps when: t = 0 days 01:50:00

Average event length: 1.039216 steps

Distribution

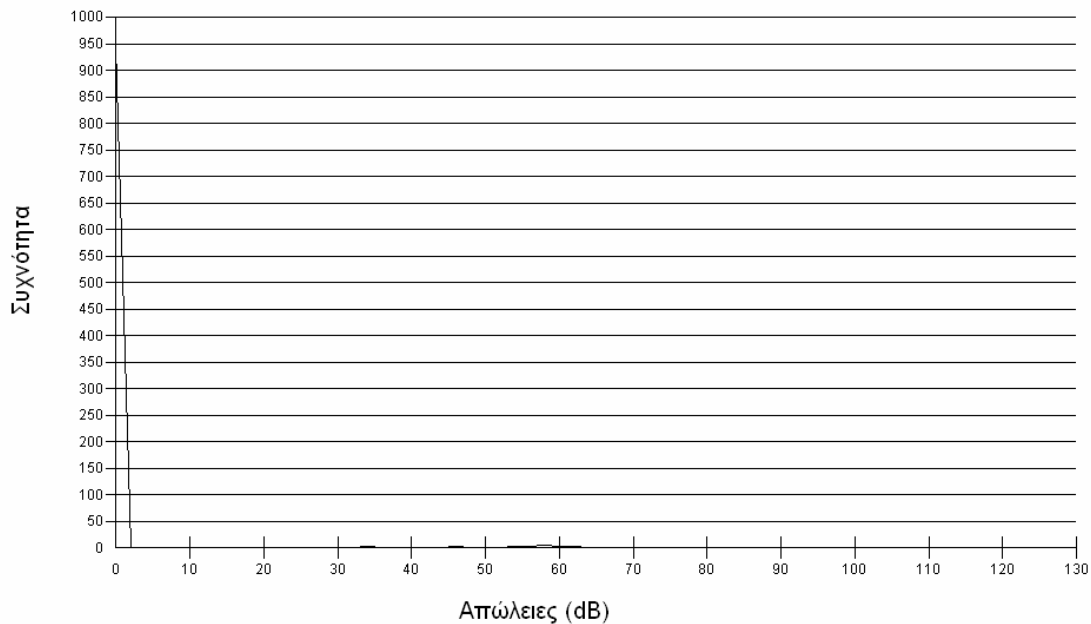
Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	0	0	0	0	0	

◀ ▶

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.20 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη - 21 km

Απώλειες λόγω έλλειψης LOS - 21 km - κεντρική και βορειοδυτική Ελλάδα - RAC



Διάγραμμα 6.3 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών λόγω έλλειψης οπτικής επαφής μεταξύ της πλατφόρμας που βρίσκεται 21 km πάνω από την Κεντρική και ΒΔ Ελλάδα και του επίγειου τερματικού στην RAC ζώνη

Παρατηρούμε ότι στη UAC ζώνη έχουμε 100% LOS, στην SAC ζώνη 99,4% ενώ στην RAC ζώνη 94,7% LOS. Συγκεκριμένα στην SAC ζώνη σε 6 από τις 1001 θέσεις που πήρε ο σταθμός, οι απώλειες λόγω περίθλασης ήταν μεγαλύτερες από το όριο των 12.11 db που θέσαμε για να υπάρχει οπτική επαφή, ενώ στην RAC ζώνη σε 53 από τις 1001 θέσεις ξεπεράστηκε το αντίστοιχο όριο των 13.06 db.

- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από τα νησιά του Αιγαίου έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

Edit statistics

General | Criteria | Statistics

Statistics on value

Worst: 0.0 dB when: t = 0 days 00:00:00

Average: -5.837936 dB Standard deviation: 4.288895 dB

Statistics on events

Number steps bad: 0 out of: 1001 = 0.0 %

Number of events: 0

Longest event: 0 steps when:

Average event length: 0.0 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	740	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.21 Ποσοστό LOS για την UAC ζώνη - 21 km

Edit statistics

General | Criteria | Statistics

Statistics on value

Worst: 0.0 dB when: t = 0 days 00:00:00

Average: -1.116931 dB Standard deviation: 1.880352 dB

Statistics on events

Number steps bad: 0 out of: 1001 = 0.0 %

Number of events: 0

Longest event: 0 steps when:

Average event length: 0.0 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-100.0	-99.8	-99.6	-99.4	dB
Occurrences:	227	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

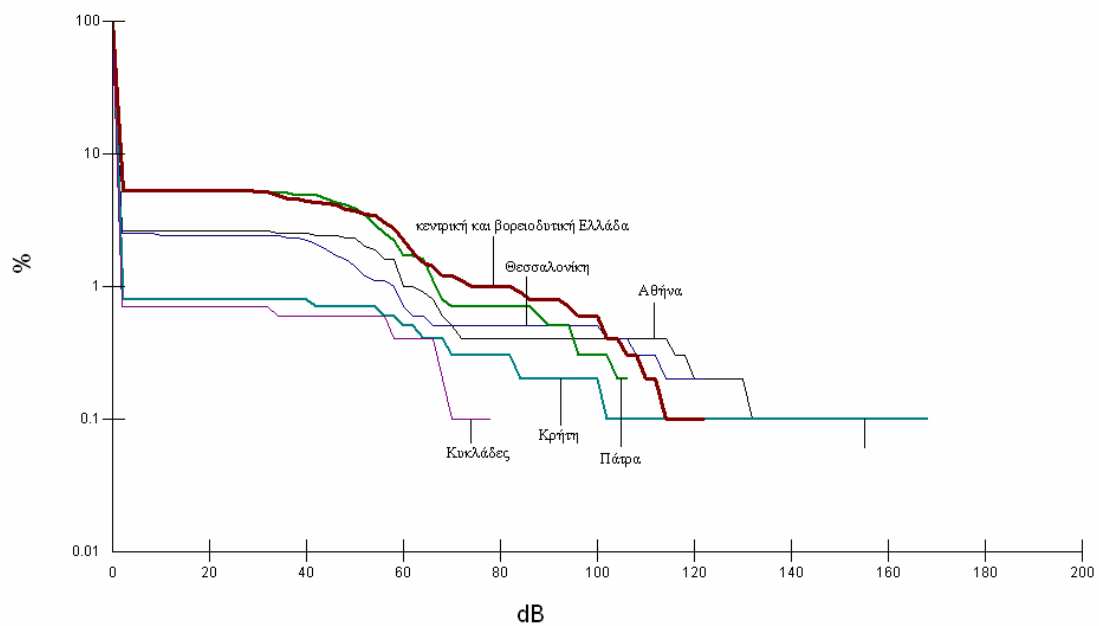
Σχήμα 6.22 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη - 21 km

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	202	0	0	0	0	

Σχήμα 6.23 – Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη - 21 km

Παρατηρούμε ότι στις UAC και SAC ζώνες έχουμε 100% LOS, ενώ στην RAC ζώνη 99,3% LOS. Συγκεκριμένα σε 7 από τις 1001 θέσεις που πήρε ο σταθμός μέσα στην RAC ζώνη, οι απώλειες λόγω περίθλασης ήταν μεγαλύτερες από το όριο των 13.06 db που θέσαμε για να υπάρχει οπτική επαφή.

Στη συνέχεια ακολουθεί το διάγραμμα της αθροιστικής συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών περίθλασης μεταξύ των πλαφορμών και των επίγειων σταθμών που τοποθετήσαμε στην RAC ζώνη. Επειδή το Visualyse παρέχει τη δυνατότητα για ταυτόχρονη απεικόνιση έως 6 ζεύξεων, παραλείψαμε τη ζεύξη πάνω από τη βορειοανατολική Μακεδονία αφού είχε εξαιρετικά ποσοστά LOS.

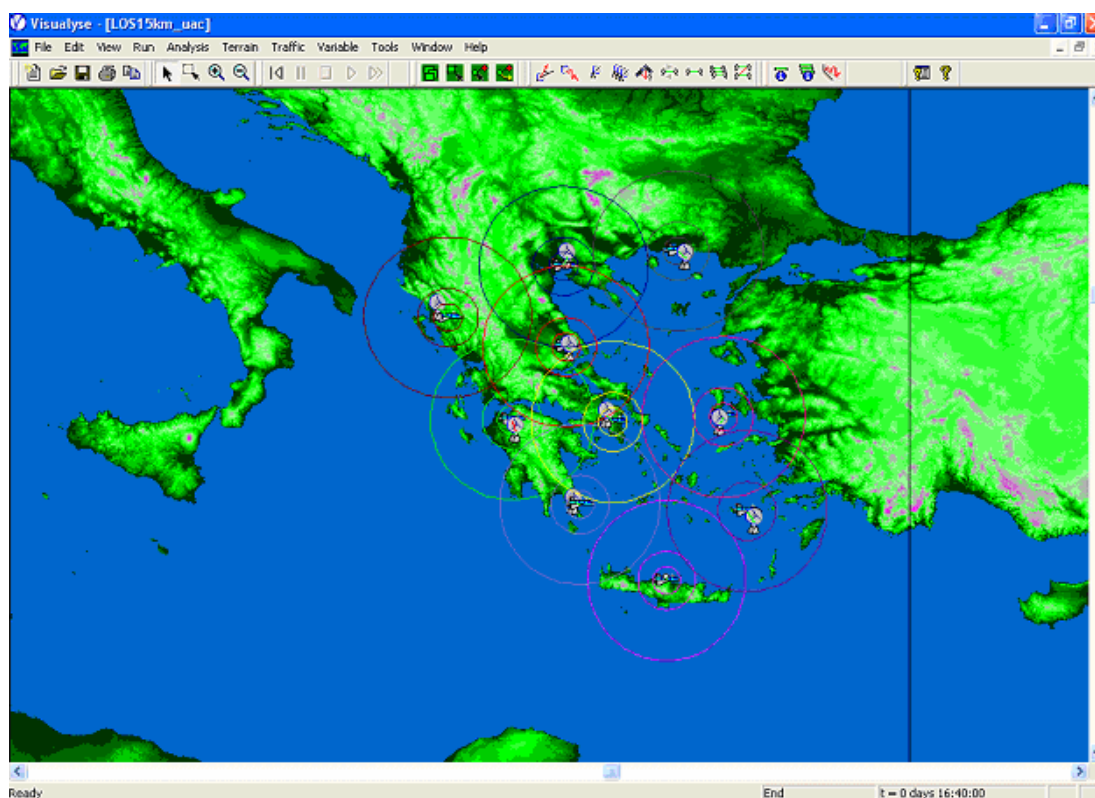


Διάγραμμα 6.4 αθροιστική συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών περίθλασης μεταξύ των πλατφορμών και των επίγειων σταθμών

Το διάγραμμα επιβεβαιώνει τις παραπάνω παρατηρήσεις μας αφού είναι εμφανές πως οι χειρότερες συνθήκες LOS αντιστοιχούν στις ζεύξεις των περιοχών πάνω από τη βορειοδυτική Ελλάδα και την Πάτρα.

6.3 Σενάριο 2^ο : Ραδιοκάλυψη της Ελλάδας με τις πλατφόρμες τοποθετημένες στα 15 km

Για τη ραδιοκάλυψη της Ελλάδας, με τις πλατφόρμες τοποθετημένες στα 15 km, χρησιμοποιήσαμε ως βάση το σενάριο της ραδιοκάλυψης στα 21 km, αλλά επειδή η ακτίνα της περιοχής κάλυψης της κάθε πλατφόρμας είναι μικρότερη λόγω του χαμηλότερου ύψους στο οποίο αυτές βρίσκονται, ήταν απαραίτητο να προσθέσουμε μερικές. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 10 πλατφόρμες, προσθέτοντας τρεις στο ήδη υπάρχον σενάριο, και προσαρμόζοντας τες έτσι ώστε να καλυφθεί ολόκληρος ο Ελλαδικός χώρος. Όπως και στο σενάριο των 21 km μελετήσαμε ξεχωριστά για κάθε ζώνη της περιοχής κάλυψης της κάθε πλατφόρμας, το ποσοστό των ζεύξεων στις οποίες υπήρχε οπτική επαφή (LOS- Line Of Sight) ανάμεσα στην πλατφόρμα και στον επίγειο σταθμό, καθώς ο τελευταίος κινείται με τυχαία κατανομή εντός των ορίων της αντίστοιχης ζώνης.



Σχήμα 6.24 Ραδιοκάλυψη της Ελλάδας στα 15 km

- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από την Αθήνα έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

Edit statistics

General | Criteria | Statistics

Statistics on value

Worst: 0.0 dB when: t = 0 days 00:00:00

Average: 0.0 dB Standard deviation: 0.0 dB

Statistics on events

Number steps bad: 0 out of: 1001 = 0.0 %

Number of events: 0

Longest event: 0 steps when:

Average event length: 0.0 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	0	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.25 Ποσοστό LOS για τη UAC ζώνη -15 km

Edit statistics

General | Criteria | Statistics

Statistics on value

Worst: 56.961558 dB when: t = 0 days 01:09:00

Average: 26.965951 dB Standard deviation: 15.128839 dB

Statistics on events

Number steps bad: 1 out of: 1001 = 0.0999 %

Number of events: 1

Longest event: 1 steps when: t = 0 days 01:10:00

Average event length: 1.0 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	0	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.26 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη -15 km

Edit statistics

General | Criteria | **Statistics**

Statistics on value

Worst: 103.59861 dB when: t = 0 days 02:35:00

Average: 74.114978 dB Standard deviation: 14.666019 dB

Statistics on events

Number steps bad: 26 out of: 1001 = 2.597403 %

Number of events: 24

Longest event: 2 steps when: t = 0 days 05:49:00

Average event length: 1.083333 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	0	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.27 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη -15 km

Παρατηρούμε ότι στη UAC ζώνη έχουμε 100% LOS, στην SAC ζώνη 99,9% ενώ στην RAC ζώνη 97,4% LOS. Συγκεκριμένα στην SAC ζώνη σε 1 από τις 1001 θέσεις που πήρε ο σταθμός, οι απώλειες λόγω περίθλασης ήταν μεγαλύτερες από το όριο των 11.81 db που θέσαμε για να υπάρχει οπτική επαφή, ενώ στην RAC ζώνη σε 26 από τις 1001 θέσεις ξεπεράστηκε το αντίστοιχο όριο των 12.42 db.

- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από τη Θεσσαλονίκη έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

Edit statistics

General Criteria **Statistics**

Statistics on value

Worst: 0.0 dB when: t = 0 days 00:00:00

Average: -0.008686 dB Standard deviation: 0.190191 dB

Statistics on events

Number steps bad: 0 out of: 1001 = 0.0 %

Number of events: 0

Longest event: 0 steps when:

Average event length: 0.0 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	2	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.28 Ποσοστό LOS για την UAC ζώνη -15 km

Edit statistics [?] [X]

General | **Criteria** | Statistics

Statistics on value

Worst: 78.11867 dB when: t = 0 days 14:55:00

Average: 59.659685 dB Standard deviation: 7.430079 dB

Statistics on events

Number steps bad: 159 out of: 1001 = 15.884116 %

Number of events: 131

Longest event: 3 steps when: t = 0 days 01:03:00

Average event length: 1.21374 steps

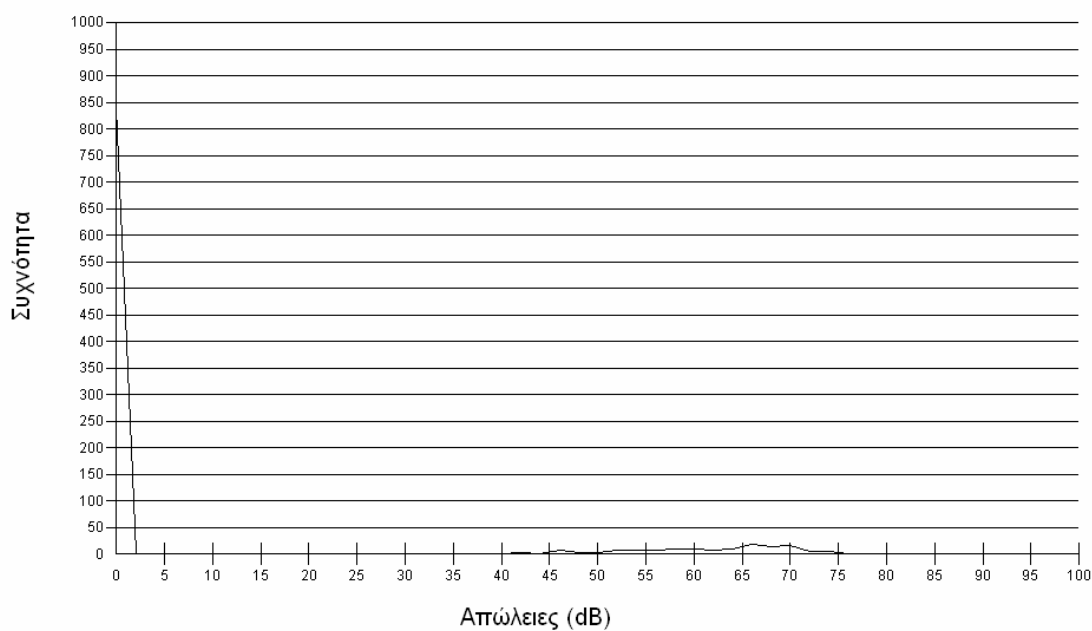
Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	0	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.29 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη -15 km

Απώλειες λόγω έλλειψης LOS - πλατφόρμα στα 15 km πάνω από τη Θεσσαλονίκη - SAC



Διάγραμμα 6.5 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών λόγω έλλειψης οπτικής επαφής μεταξύ της πλατφόρμας που βρίσκεται 15 km πάνω από τη Θεσσαλονίκη και του επίγειου τερματικού στην SAC ζώνη

Edit statistics [?] [X]

General | **Criteria** | Statistics

Statistics on value

Worst: 179.096019 dB when: t = 0 days 03:00:00

Average: 149.203528 dB Standard deviation: 15.03022 dB

Statistics on events

Number steps bad: 514 out of: 1001 = 51.348651 %

Number of events: 259

Longest event: 8 steps when: t = 0 days 01:55:00

Average event length: 1.984556 steps

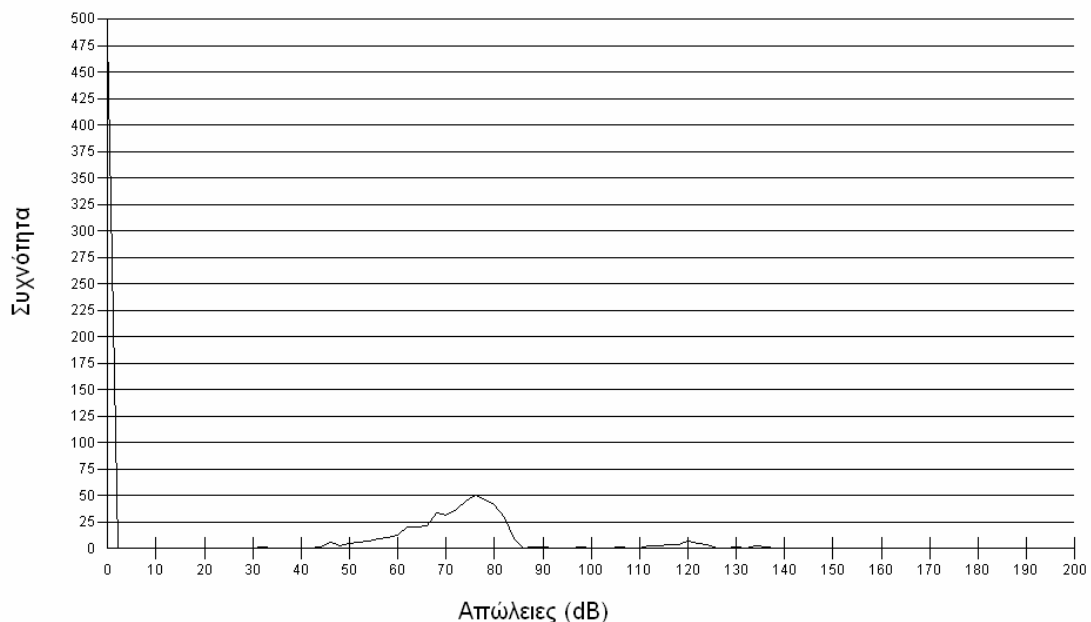
Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	0	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.30 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη -15 km

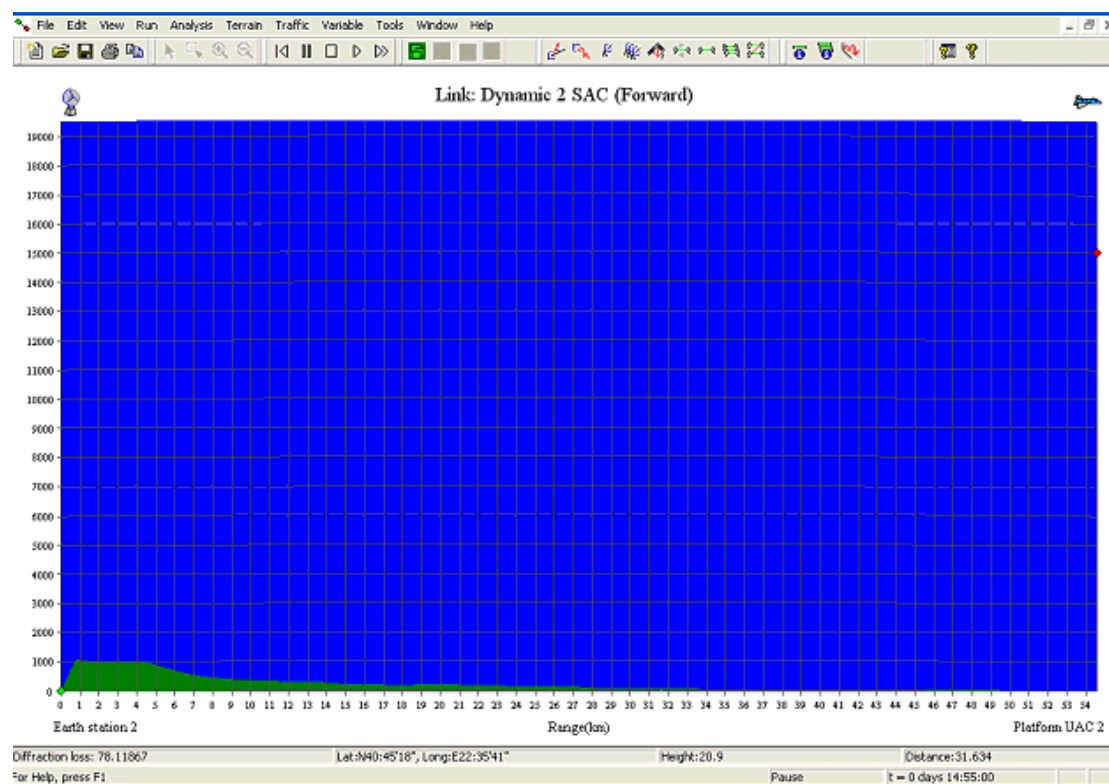
Απώλειες λόγω έλλειψης LOS - πλατφόρμα στα 15 km πάνω από τη Θεσσαλονίκη - RAC



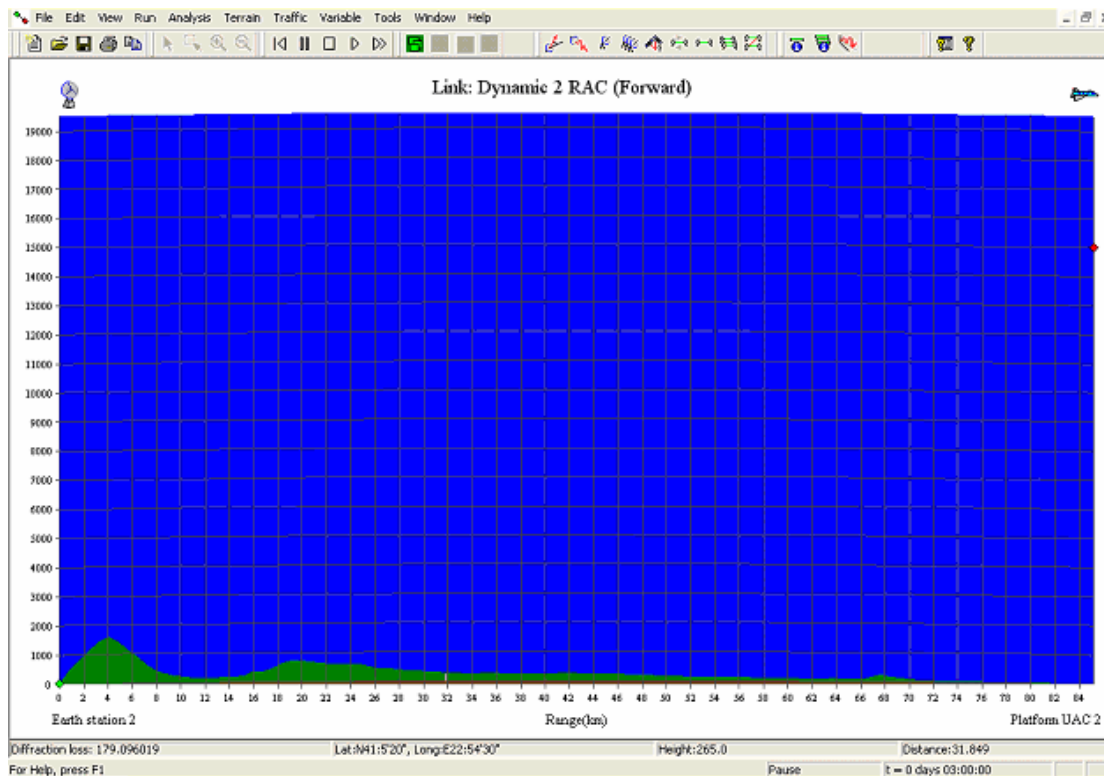
Διάγραμμα 6.6 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών λόγω έλλειψης οπτικής επαφής μεταξύ της πλατφόρμας που βρίσκεται 15 km πάνω από τη Θεσσαλονίκη και του επίγειου τερματικού στην RAC ζώνη

Παρατηρούμε ότι στη UAC ζώνη έχουμε 100% LOS, στην SAC ζώνη 84,1% ενώ στην RAC ζώνη 48,65% LOS. Συγκεκριμένα στην SAC ζώνη σε 159 από τις 1001 θέσεις που πήρε ο σταθμός, οι απώλειες λόγω περίθλασης ήταν μεγαλύτερες από το όριο των 11.81 db που θέσαμε για να υπάρχει οπτική επαφή. Όπως φαίνεται από το διάγραμμα στις θέσεις που δεν υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη, η πλειονότητα των απωλειών κυμαίνονται στα 40 dB με 80 dB. Στην RAC ζώνη σε 514 από τις 1001 θέσεις ξεπεράστηκε το αντίστοιχο όριο των 12.42 db. Στις θέσεις αυτές οι απώλειες βρίσκονται στο διάστημα από 30 dB έως 150 dB.

Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται η θέση που έχει ο επίγειος σταθμός σε σχέση με την πλατφόρμα μια από τις χρονικές στιγμές στις οποίες δεν υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ τους, μιας και παρεμβάλλονται υψηλά εμπόδια λόγω της μη ομαλής μορφολογίας του εδάφους.



Σχήμα 6.31 Μορφολογία εδάφους και έλλειψη οπτικής επαφής στην SAC ζώνη – 15 km



Σχήμα 6.32 Μορφολογία εδάφους και έλλειψη οπτικής επαφής στην RAC ζώνη – 15 km

- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από την Πάτρα έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

The screenshot shows the 'Edit statistics' dialog box with the following data:

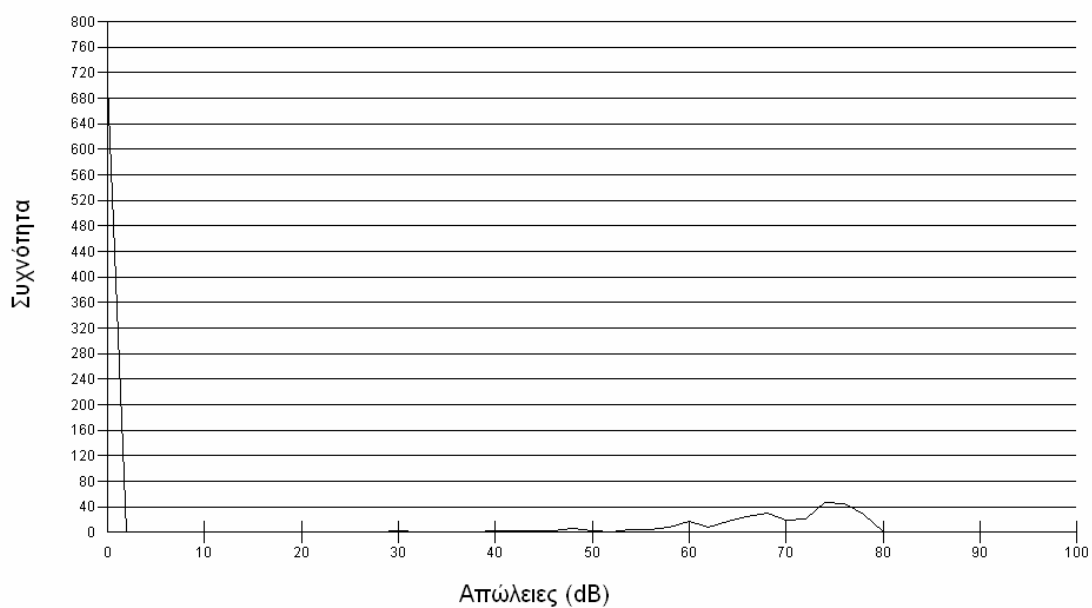
Category	Value	Unit	When
Worst	79.799119	dB	t = 0 days 12:12:00
Average	68.440264	dB	
Standard deviation	5.379681	dB	
Number steps bad	297		
out of	1001		
%	29.67033	%	
Number of events	213		
Longest event	6	steps	t = 0 days 14:20:00
Average event length	1.394366	steps	

The 'Distribution' section shows the following data:

Bin start value	Occurrences
Below range	1
-1000.0	0
-998.0	0
-996.0	0
-994.0	0

Σχήμα 6.33 Ποσοστό LOS για την UAC ζώνη -15 km

Απώλειες λόγω έλλειψης οπτικής επαφής για πλατφόρμα 15 km πάνω από Πατρα - UAC



Διάγραμμα 6.7 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών λόγω έλλειψης οπτικής επαφής μεταξύ της πλατφόρμας που βρίσκεται 15 km πάνω από την Πάτρα και του επίγειου τερματικού στην UAC ζώνη

Edit statistics [?] [X]

General | Criteria | **Statistics**

Statistics on value

Worst: 120.759858 dB when: t = 0 days 02:57:00

Average: 94.095585 dB Standard deviation: 12.881573 dB

Statistics on events

Number steps bad: 286 out of: 1001 = 28.571429 %

Number of events: 209

Longest event: 5 steps when: t = 0 days 15:49:00

Average event length: 1.368421 steps

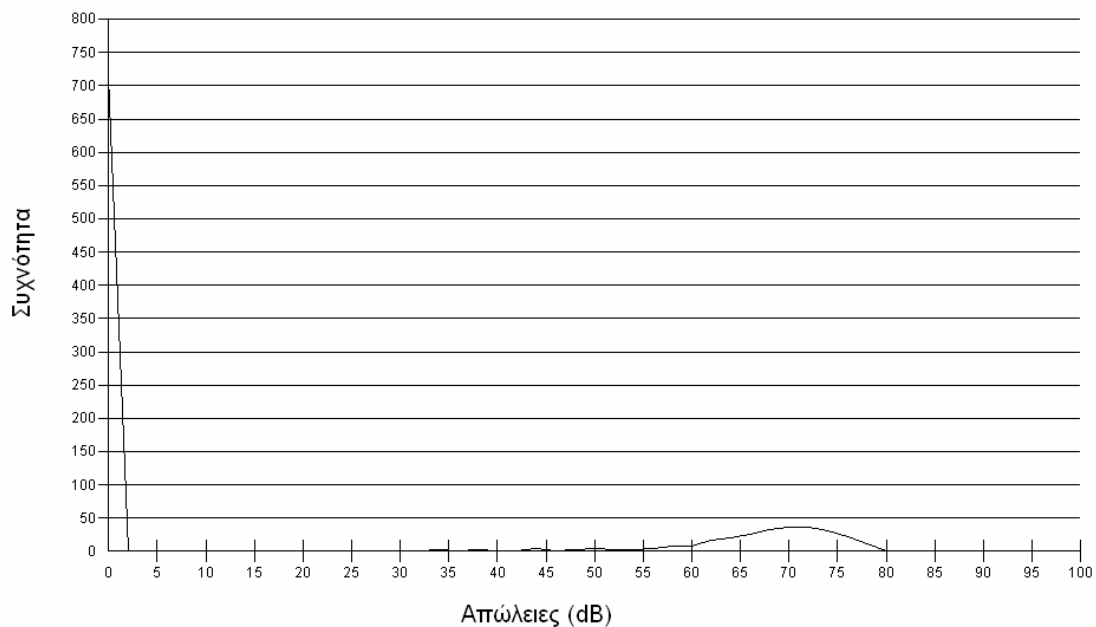
Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	0	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.34 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη -15 km

Απώλειες λόγω έλλειψης LOS - πλατφόρμα στα 15 km πάνω από την Πάτρα - SAC



Διάγραμμα 6.8 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών λόγω έλλειψης οπτικής επαφής μεταξύ της πλατφόρμας που βρίσκεται 15 km πάνω από την Πάτρα και του επίγειου τερματικού στην SAC ζώνη

Edit statistics [?] [X]

General | **Criteria** | Statistics

Statistics on value

Worst: 160.345768 dB when: t = 0 days 01:33:00

Average: 130.510451 dB Standard deviation: 14.973587 dB

Statistics on events

Number steps bad: 444 out of: 1001 = 44.355644 %

Number of events: 251

Longest event: 7 steps when: t = 0 days 16:27:00

Average event length: 1.768924 steps

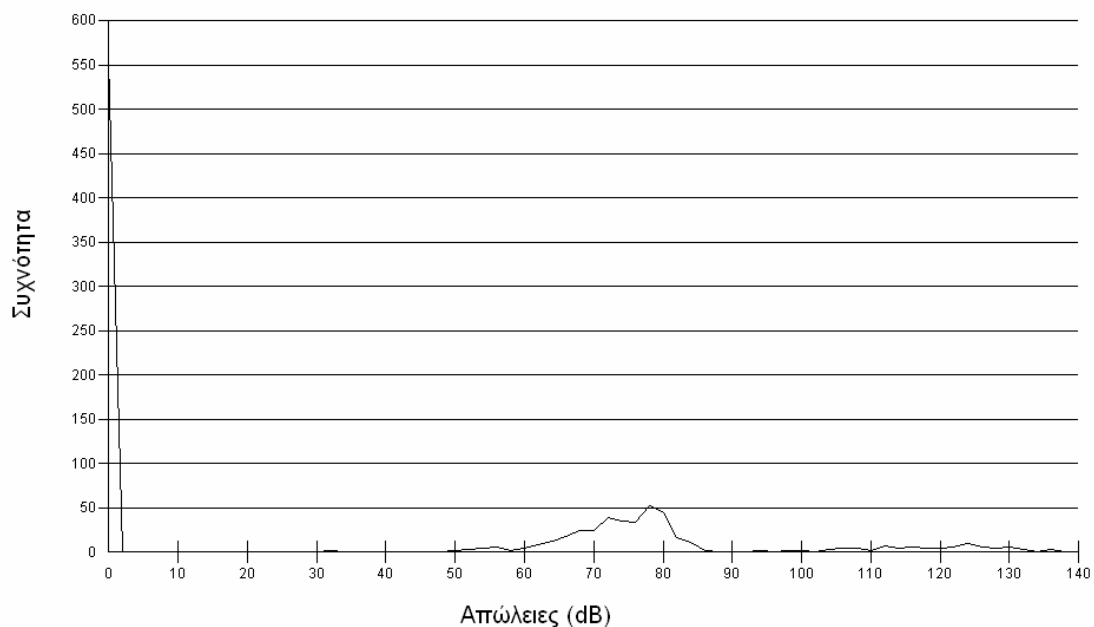
Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	0	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

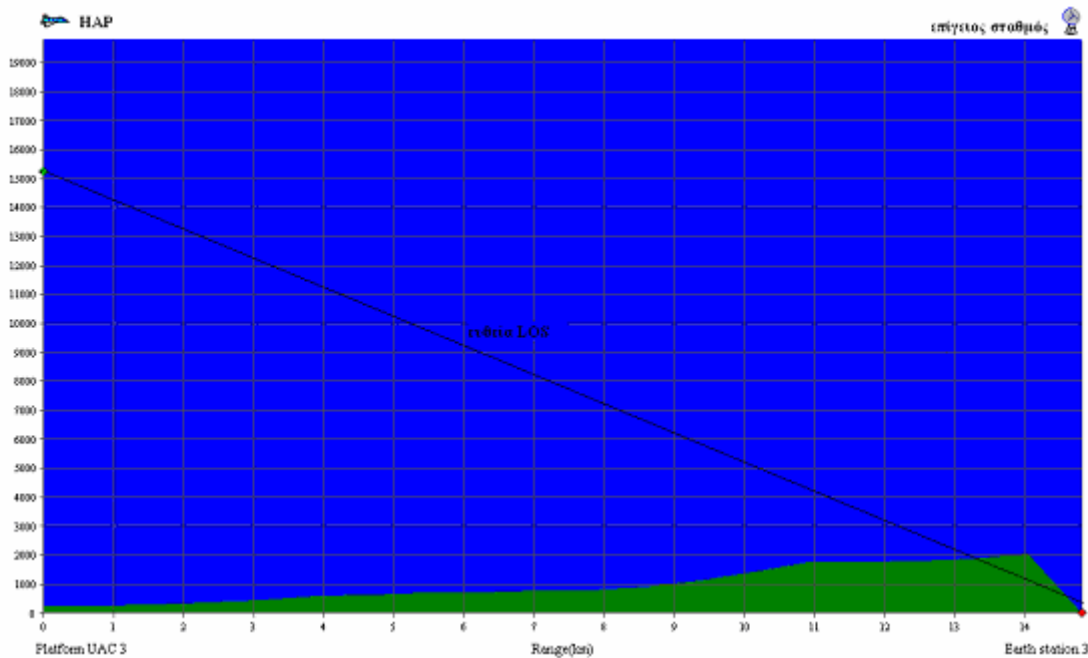
Σχήμα 6.35 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη -15 km

Απώλειες λόγω έλλειψης LOS - πλατφόρμα στα 15 km πάνω από την Πάτρα - RAC

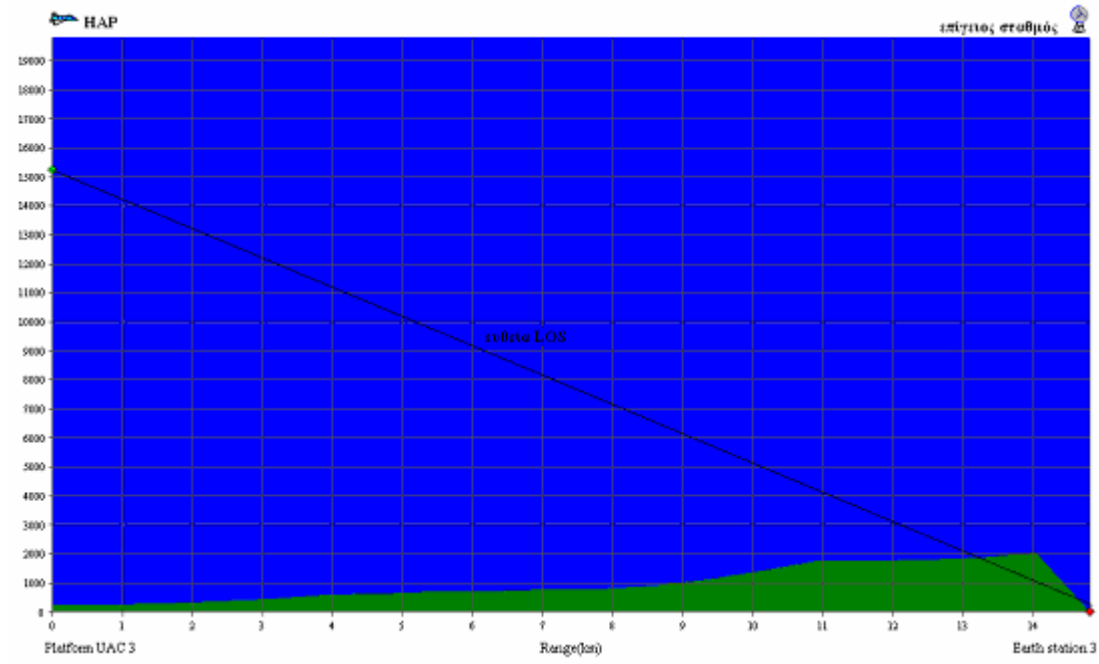


Διάγραμμα 6.9 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών λόγω έλλειψης οπτικής επαφής μεταξύ της πλατφόρμας που βρίσκεται 15 km πάνω από την Πάτρα και του επίγειου τερματικού στην RAC ζώνη

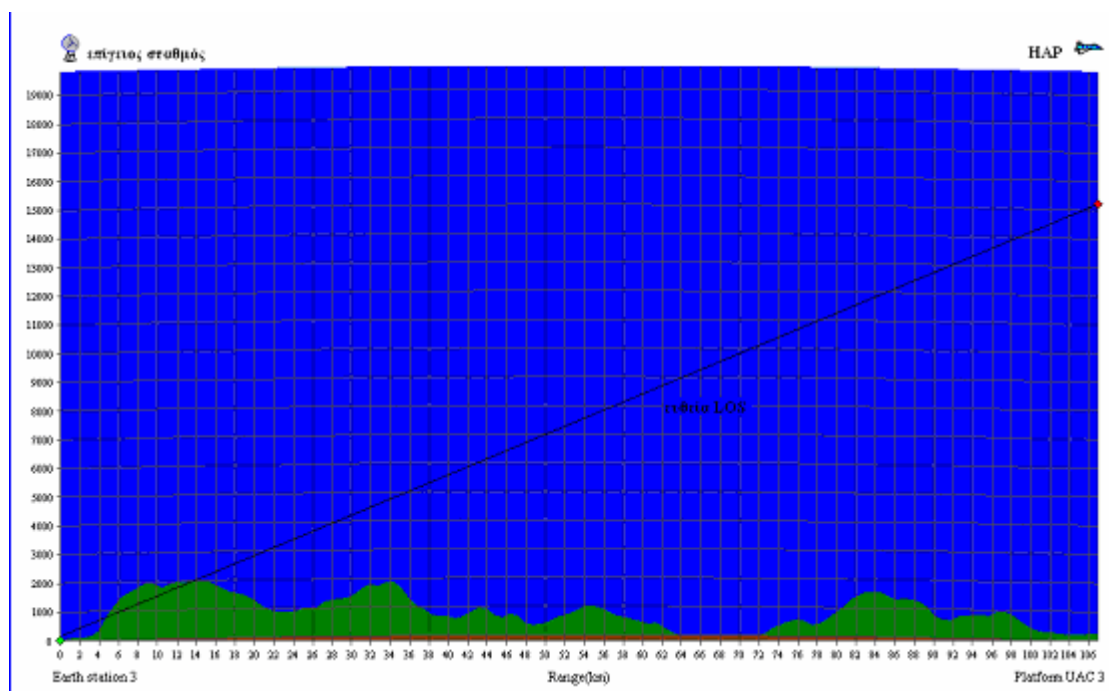
Παρατηρούμε ότι στη UAC ζώνη έχουμε 70,33% LOS, στην SAC ζώνη 71,43% ενώ στην RAC ζώνη 55,64% LOS. Συγκεκριμένα στην UAC ζώνη σε 297 από τις 1001 θέσεις που πήρε ο σταθμός, οι απώλειες λόγω περίθλασης ήταν μεγαλύτερες από το όριο των 11.44db που θέσαμε για να υπάρχει οπτική επαφή. Όπως φαίνεται από το διάγραμμα στις θέσεις που δεν υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη, η πλειονότητα των απωλειών κυμαίνονται στα 30 dB με 80 dB. Στην SAC ζώνη σε 286 θέσεις ξεπεράστηκε το όριο των 11.81 db , με τις απώλειες στις θέσεις αυτές να βρίσκονται στο διάστημα μεταξύ 30 dB και 80 dB. Στην RAC ζώνη σε 514 από τις 1001 θέσεις ξεπεράστηκε το αντίστοιχο όριο των 12.42 db, οι απώλειες στις θέσεις αυτές κυμαίνονται από 30 έως 140 dB και η πλειονότητα αυτών βρίσκονται γύρω στα 80 dB.



Σχήμα 6.36 Μορφολογία εδάφους και έλλειψη οπτικής επαφής στην UAC ζώνη - 15 km



Σχήμα 6.37 Μορφολογία εδάφους και έλλειψη οπτικής επαφής στην SAC ζώνη - 15 km



Σχήμα 6.38 Μορφολογία εδάφους και έλλειψη οπτικής επαφής στην RAC ζώνη - 15 km

- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από το Ηράκλειο έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

Edit statistics

General Criteria **Statistics**

Statistics on value

Worst: 0.0 dB when: t = 0 days 00:00:00

Average: -0.017389 dB Standard deviation: 0.266853 dB

Statistics on events

Number steps bad: 0 out of: 1001 = 0.0 %

Number of events: 0

Longest event: 0 steps when:

Average event length: 0.0 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	4	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.39 Ποσοστό LOS για την UAC ζώνη -15 km

Edit statistics

General Criteria **Statistics**

Statistics on value

Worst: 80.335386 dB when: t = 0 days 12:12:00

Average: 50.378803 dB Standard deviation: 15.091081 dB

Statistics on events

Number steps bad: 6 out of: 1001 = 0.599401 %

Number of events: 6

Longest event: 1 steps when: t = 0 days 01:09:00

Average event length: 1.0 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	0	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.40 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη -15 km

Edit statistics

General | Criteria | **Statistics**

Statistics on value

Worst: 124.71938 dB when: t = 0 days 09:08:00

Average: 96.626811 dB Standard deviation: 13.830818 dB

Statistics on events

Number steps bad: 11 out of: 1001 = 1.098901 %

Number of events: 11

Longest event: 1 steps when: t = 0 days 03:59:00

Average event length: 1.0 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	0	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.41 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη -15 km

Παρατηρούμε ότι στη UAC ζώνη έχουμε 100% LOS, στην SAC ζώνη 99,4% ενώ στην RAC ζώνη 98,9% LOS. Συγκεκριμένα στην SAC ζώνη σε 6 από τις 1001 θέσεις που πήρε ο σταθμός, οι απώλειες λόγω περίθλασης ήταν μεγαλύτερες από το όριο των 11.81 db που θέσαμε για να υπάρχει οπτική επαφή, ενώ στην RAC ζώνη σε 11 από τις 1001 θέσεις ξεπεράστηκε το αντίστοιχο όριο των 12.42 db.

- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από τη βορειοανατολική Ελλάδα έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

Edit statistics

General Criteria **Statistics**

Statistics on value

Worst: 0.0 dB when: t = 0 days 00:06:00

Average: -5.380361 dB Standard deviation: 4.09355 dB

Statistics on events

Number steps bad: 0 out of: 1001 = 0.0 %

Number of events: 0

Longest event: 0 steps when:

Average event length: 0.0 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	711	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.42 Ποσοστό LOS για την UAC ζώνη -15 km

Edit statistics

General Criteria **Statistics**

Statistics on value

Worst: 0.0 dB when: t = 0 days 00:05:00

Average: -1.516294 dB Standard deviation: 2.166235 dB

Statistics on events

Number steps bad: 0 out of: 1001 = 0.0 %

Number of events: 0

Longest event: 0 steps when:

Average event length: 0.0 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	295	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.43 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη -15 km

Edit statistics

General | Criteria | Statistics

Statistics on value

Worst: 109.823999 dB when: t = 0 days 04:08:00

Average: 83.471037 dB Standard deviation: 12.691585 dB

Statistics on events

Number steps bad: 22 out of: 1001 = 2.197802 %

Number of events: 21

Longest event: 2 steps when: t = 0 days 10:38:00

Average event length: 1.047619 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	216	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.44 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη -15 km

Παρατηρούμε ότι στις UAC και SAC ζώνες έχουμε 100% LOS, ενώ στην RAC ζώνη 97,8% LOS. Συγκεκριμένα σε 22 από τις 1001 θέσεις που πήρε ο σταθμός μέσα στην RAC ζώνη, οι απώλειες λόγω περίθλασης ήταν μεγαλύτερες από το όριο των 12.42 db που θέσαμε για να υπάρχει οπτική επαφή.

- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από τη βορειοδυτική Ελλάδα έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

The screenshot shows the 'Edit statistics' dialog box with the following data:

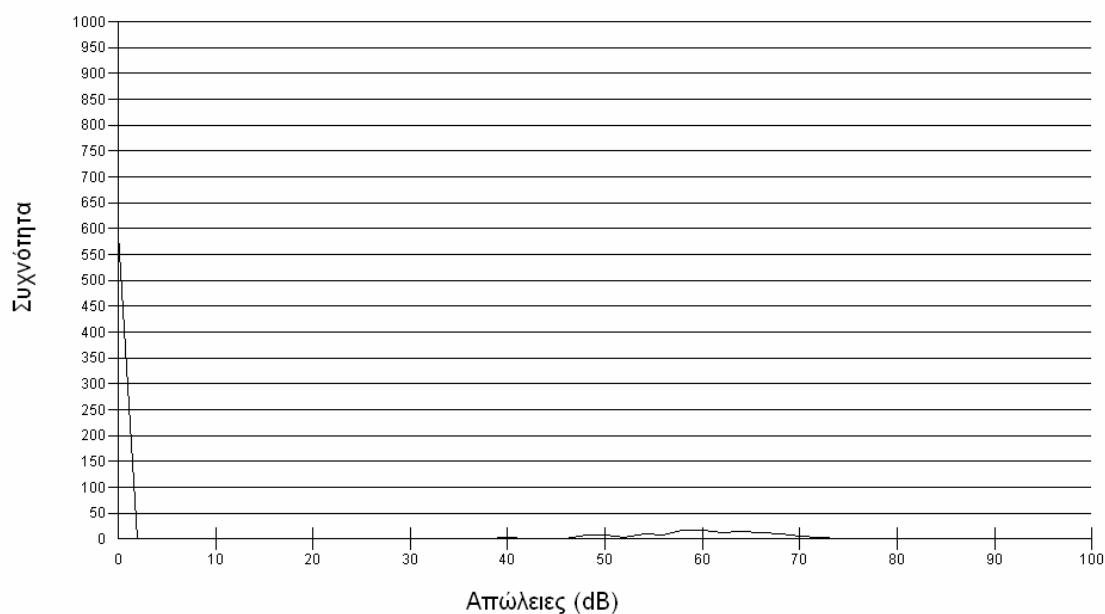
Category	Value	Unit	When
Worst	73.156845	dB	t = 0 days 09:47:00
Average	56.908836	dB	
Standard deviation	6.891449	dB	
Number steps bad	183		
out of	1001		
%	18.281718	%	
Number of events	150		
Longest event	5	steps	t = 0 days 10:01:00
Average event length	1.22	steps	

The 'Distribution' section shows the following data:

Bin start value	Occurrences
Below range	2
-1000.0	0
-998.0	0
-996.0	0
-994.0	0

Σχήμα 6.45 Ποσοστό LOS για την UAC ζώνη -15 km

απώλειες λόγω έλλειψης LOS - 15 km - βορειοδυτική Ελλάδα - UAC



Διάγραμμα 6.10 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών λόγω έλλειψης οπτικής επαφής μεταξύ της πλατφόρμας που βρίσκεται 15 km πάνω από τη Βορειοδυτική Ελλάδα και του επίγειου τερματικού στην UAC ζώνη

Edit statistics [?] [X]

General | Criteria | Statistics

Statistics on value

Worst: 136.785653 dB when: t = 0 days 13:31:00

Average: 111.488605 dB Standard deviation: 12.106615 dB

Statistics on events

Number steps bad: 401 out of: 1001 = 40.05994 %

Number of events: 246

Longest event: 6 steps when: t = 0 days 01:41:00

Average event length: 1.630081 steps

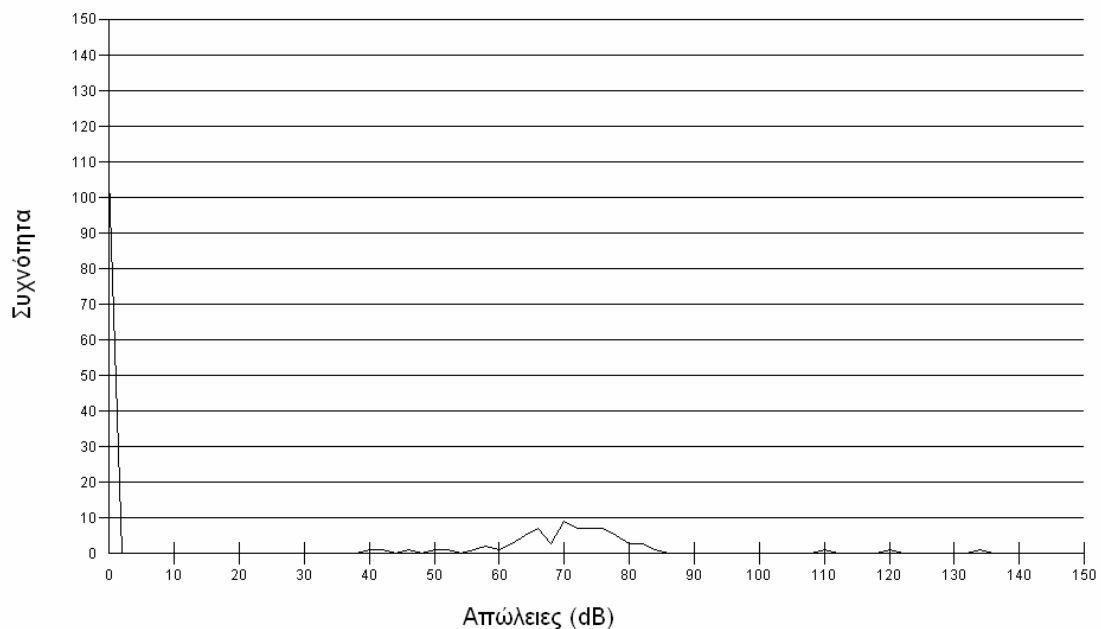
Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	0	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.46 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη -15 km

Απώλειες λόγω έλλειψης LOS - 15 km - βορειοδυτική Ελλάδα - SAC



Διάγραμμα 6.11 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών λόγω έλλειψης οπτικής επαφής μεταξύ της πλατφόρμας που βρίσκεται 15 km πάνω από τη Βορειοδυτική Ελλάδα και του επίγειου τερματικού στην SAC ζώνη

Edit statistics [?] [X]

General | Criteria | **Statistics**

Statistics on value

Worst: 139.916035 dB when: t = 0 days 00:46:00

Average: 116.699159 dB Standard deviation: 10.228585 dB

Statistics on events

Number steps bad: 397 out of: 1001 = 39.66034 %

Number of events: 241

Longest event: 7 steps when: t = 0 days 02:05:00

Average event length: 1.647303 steps

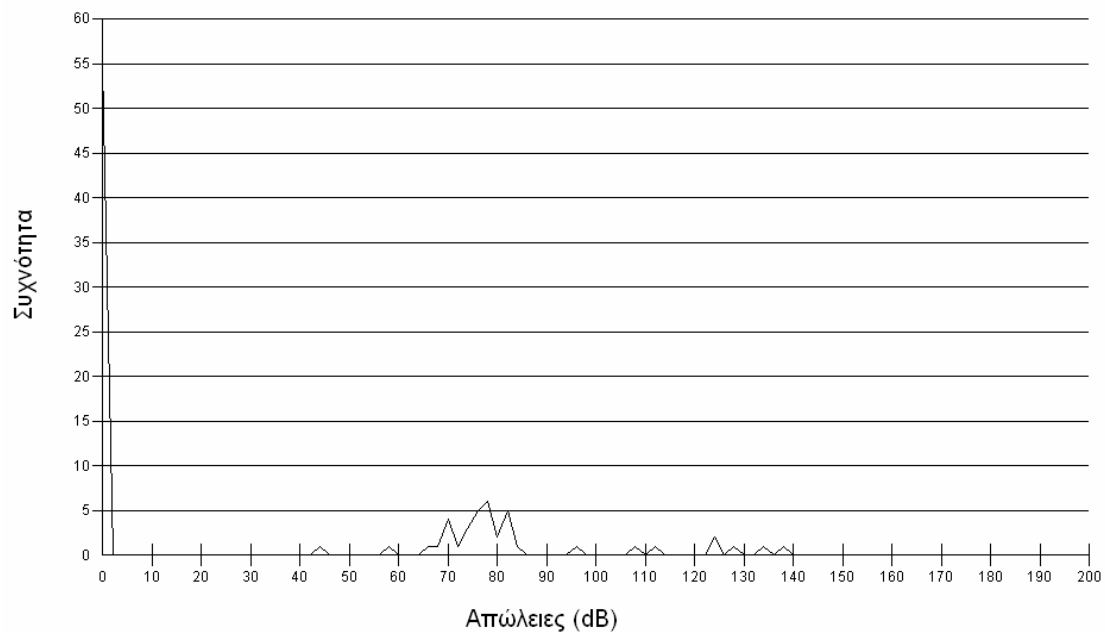
Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	0	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

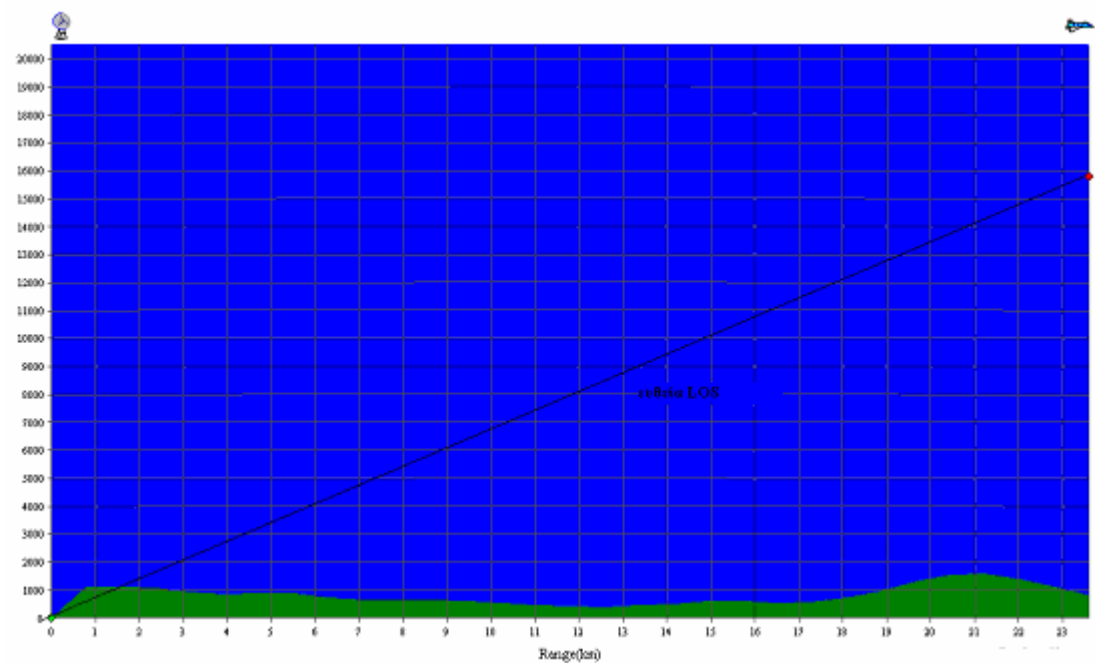
Σχήμα 6.47 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη -15 km

Απώλειες λόγω έλλειψης LOS - 15 km - βορειοδυτική Ελλάδα - RAC

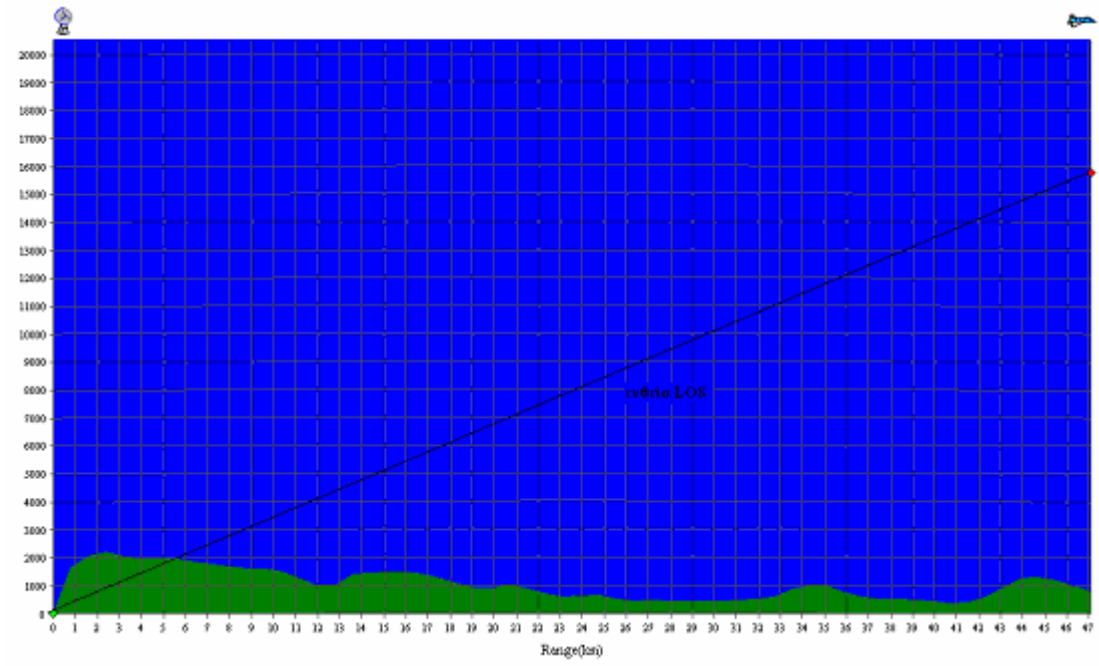


Διάγραμμα 6.12 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών λόγω έλλειψης οπτικής επαφής μεταξύ της πλατφόρμας που βρίσκεται 15 km πάνω από τη Βορειοδυτική Ελλάδα και του επίγειου τερματικού στην RAC ζώνη

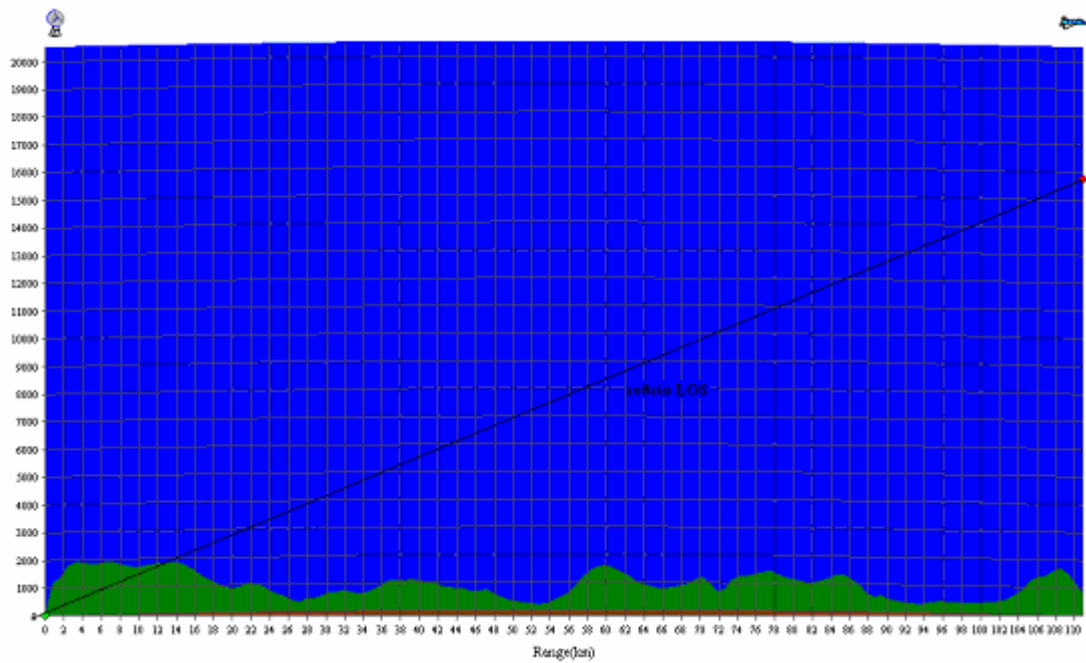
Παρατηρούμε ότι στη UAC ζώνη έχουμε 81,7% LOS, στην SAC ζώνη 59,93% ενώ στην RAC ζώνη 60,34% LOS. Συγκεκριμένα στην UAC ζώνη σε 183 από τις 1001 θέσεις που πήρε ο σταθμός, οι απώλειες λόγω περίθλασης ήταν μεγαλύτερες από το όριο των 11.44db που θέσαμε για να υπάρχει οπτική επαφή, στην SAC ζώνη σε 401 ξεπεράστηκε το όριο των 11.81 db ,ενώ στην RAC ζώνη σε 397 από τις 1001 θέσεις ξεπεράστηκε το αντίστοιχο όριο των 12.42 db. Όπως βλέπουμε και από τα διαγράμματα, στις θέσεις που δεν υπάρχει οπτική επαφή οι απώλειες κυμαίνονται μεταξύ 40 και 75 dB για τη UAC ζώνη, 40 και 135 dB για την SAC ζώνη και 40 με 140 dB για την RAC ζώνη.



Σχήμα 6.48 Μορφολογία εδάφους και έλλειψη οπτικής επαφής στην UAC ζώνη – 15 km



Σχήμα 6.49 Μορφολογία εδάφους και έλλειψη οπτικής επαφής στην SAC ζώνη – 15 km



Σχήμα 6.50 Μορφολογία εδάφους και έλλειψη οπτικής επαφής στην RAC ζώνη – 15 km

- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από την κεντρική Ελλάδα έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

Edit statistics

General | Criteria | Statistics

Statistics on value

Worst: 0.0 dB when: t = 0 days 00:01:00

Average: -1.039079 dB Standard deviation: 1.818916 dB

Statistics on events

Number steps bad: 0 out of: 1001 = 0.0 %

Number of events: 0

Longest event: 0 steps when:

Average event length: 0.0 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	213	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.51 Ποσοστό LOS για την UAC ζώνη -15 km

Edit statistics

General | Criteria | Statistics

Statistics on value

Worst: 44.199631 dB when: t = 0 days 01:57:00

Average: 14.355765 dB Standard deviation: 14.981685 dB

Statistics on events

Number steps bad: 1 out of: 1001 = 0.0999 %

Number of events: 1

Longest event: 1 steps when: t = 0 days 01:58:00

Average event length: 1.0 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	10	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.52 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη -15 km

Edit statistics [?] [X]

General | Criteria | **Statistics**

Statistics on value

Worst: 177.384558 dB when: t = 0 days 10:19:00

Average: 147.75777 dB Standard deviation: 14.786521 dB

Statistics on events

Number steps bad: 66 out of: 1001 = 6.593407 %

Number of events: 63

Longest event: 2 steps when: t = 0 days 06:05:00

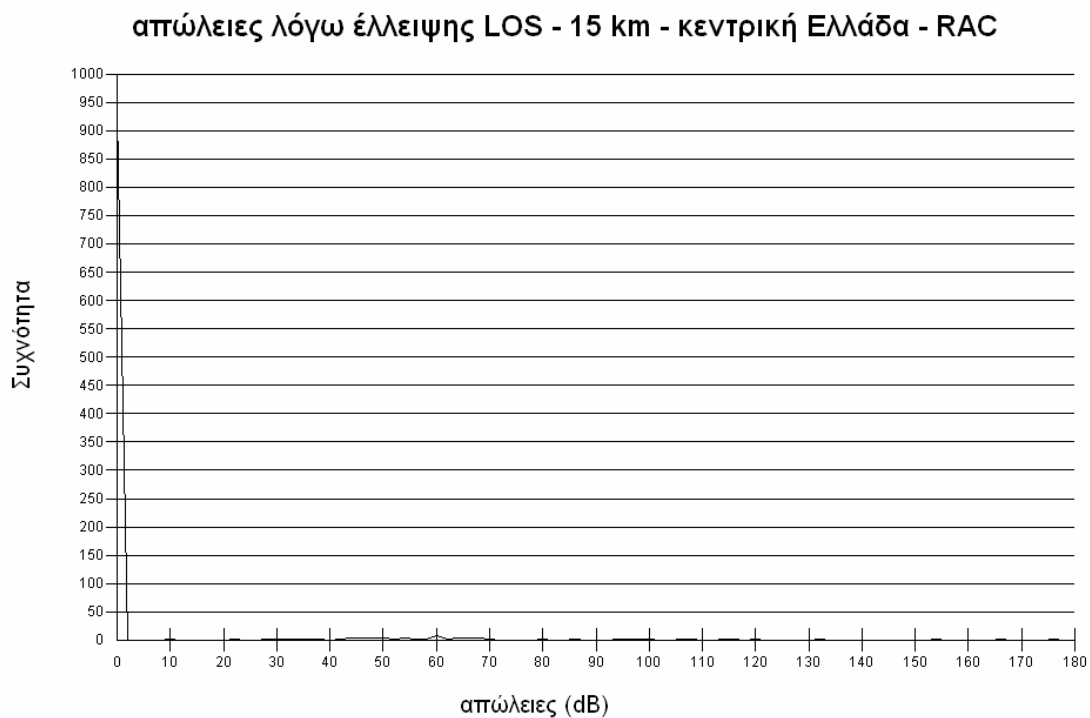
Average event length: 1.047619 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	0	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.53– Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη -15 km



Διάγραμμα 6.13 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών λόγω έλλειψης οπτικής επαφής μεταξύ της πλατφόρμας που βρίσκεται 15 km πάνω από την κεντρική Ελλάδα και του επίγειου τερματικού στην RAC ζώνη

Παρατηρούμε ότι στη UAC ζώνη έχουμε 100% LOS, στην SAC ζώνη 99,9% ενώ στην RAC ζώνη 93,4% LOS. Συγκεκριμένα στην SAC ζώνη σε 1 από τις 1001 θέσεις που πήρε ο σταθμός, οι απώλειες λόγω περίθλασης ήταν μεγαλύτερες από το όριο των 11.81 db που θέσαμε για να υπάρχει οπτική επαφή, ενώ στην RAC ζώνη σε 66 από τις 1001 θέσεις ξεπεράστηκε το αντίστοιχο όριο των 12.42 db.

- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από τη νότια Πελοπόννησο έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	589	0	0	0	0	

Σχήμα 6.54 Ποσοστό LOS για την UAC ζώνη -15 km

Edit statistics [?] [X]

General | Criteria | Statistics

Statistics on value

Worst: 0.0 dB when: t = 0 days 00:00:00

Average: 0.0 dB Standard deviation: 0.0 dB

Statistics on events

Number steps bad: 0 out of: 1001 = 0.0 %

Number of events: 0

Longest event: 0 steps when:

Average event length: 0.0 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	0	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.55 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη -15 km

Edit statistics [?] [X]

General | Criteria | Statistics

Statistics on value

Worst: 133.864418 dB when: t = 0 days 02:08:00

Average: 103.888142 dB Standard deviation: 15.110171 dB

Statistics on events

Number steps bad: 36 out of: 1001 = 3.596404 %

Number of events: 33

Longest event: 2 steps when: t = 0 days 00:54:00

Average event length: 1.090909 steps

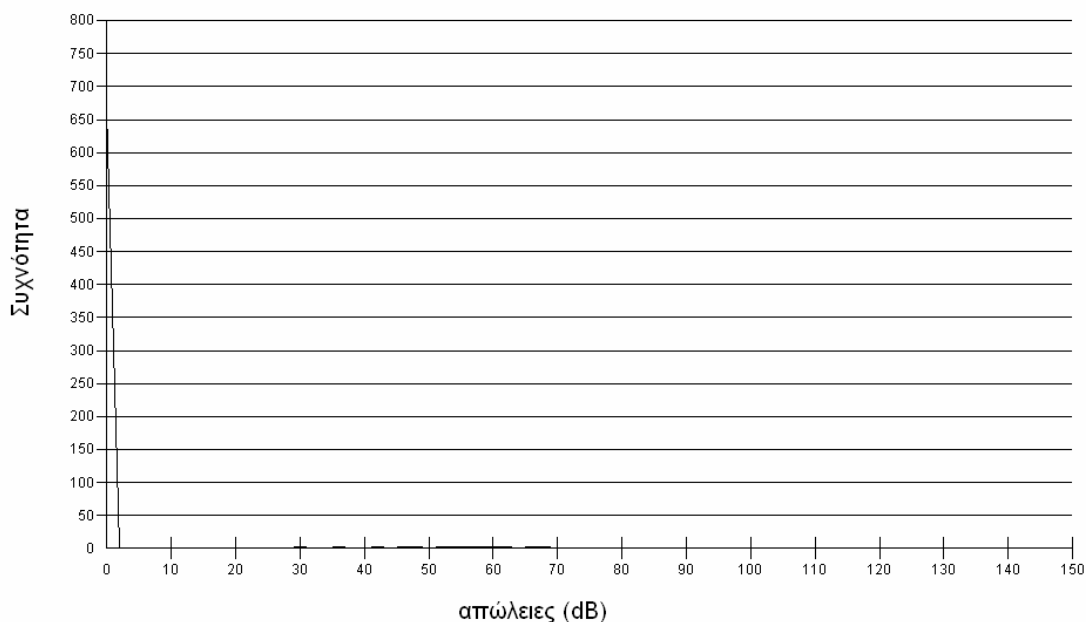
Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	299	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.56 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη -15 km

απώλειες λόγω έλλειψης LOS - νότια Πελοπόννησος - 15 km -
RAC



Διάγραμμα 6.14 - Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών λόγω έλλειψης οπτικής επαφής μεταξύ της πλατφόρμας που βρίσκεται 15 km πάνω από τη Νότια Πελοπόννησο και του επίγειου τερματικού στην RAC ζώνη

Παρατηρούμε ότι στις UAC και SAC ζώνες έχουμε 100% LOS, ενώ στην RAC ζώνη 96,4% LOS. Συγκεκριμένα σε 36 από τις 1001 θέσεις που πήρε ο σταθμός μέσα στην RAC ζώνη, οι απώλειες λόγω περίθλασης ήταν μεγαλύτερες από το όριο των 12.42 db που θέσαμε για να υπάρχει οπτική επαφή.

Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από τα νησιά του ανατολικού Αιγαίου έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

The screenshot shows the 'Edit statistics' dialog box with the following data:

Category	Value	Unit
Worst	0.0	dB
Average	-7.882465	dB
Standard deviation	5.14353	dB
When	t = 0 days 00:02:00	
Number steps bad	0	
out of	1001	
%	0.0	%
Number of events	0	
Longest event	0	steps
Average event length	0.0	steps

Bin start value	Occurrences
Below range	838
-1000.0	0
-998.0	0
-996.0	0
-994.0	0

Unit: dB

Σχήμα 6.57 Ποσοστό LOS για την UAC ζώνη -15 km

Edit statistics [?] [X]

General | Criteria | Statistics

Statistics on value

Worst: 76.033925 dB when: t = 0 days 11:05:00

Average: 54.532045 dB Standard deviation: 9.443655 dB

Statistics on events

Number steps bad: 58 out of: 1001 = 5.794206 %

Number of events: 54

Longest event: 2 steps when: t = 0 days 00:17:00

Average event length: 1.074074 steps

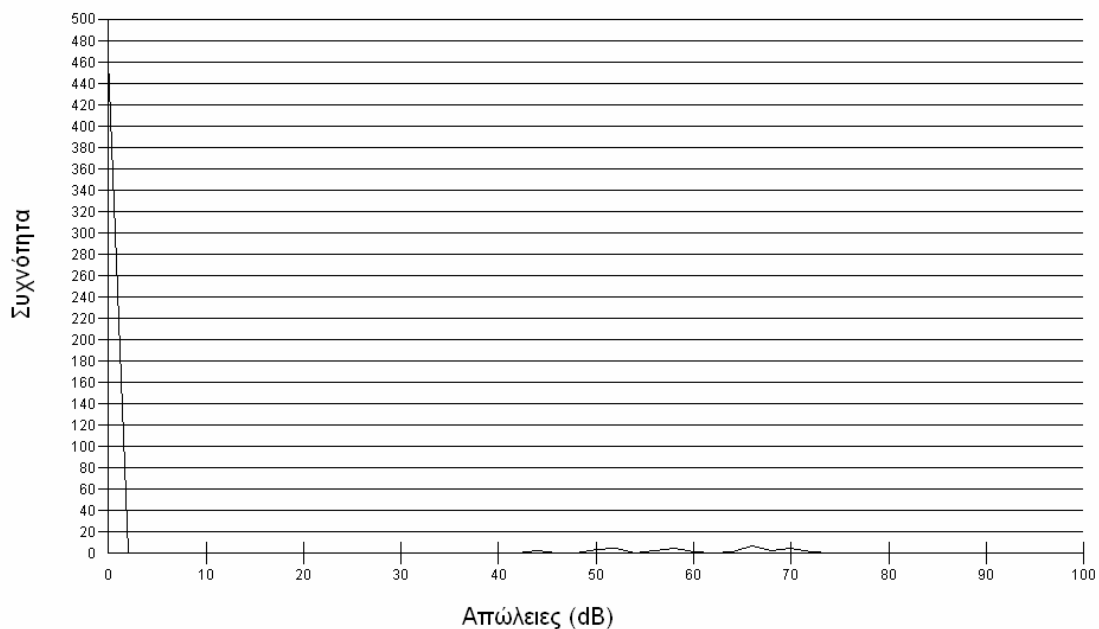
Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	378	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.58 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη -15 km

Απώλειες λόγω έλλειψης LOS - 15 km - νησια Ανατολικού Αιγαίου SAC



Διάγραμμα 6.15 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών λόγω έλλειψης οπτικής επαφής μεταξύ της πλατφόρμας που βρίσκεται 15 km πάνω από τα νησιά του Ανατολικού Αιγαίου και του επίγειου τερματικού στην SAC ζώνη

Edit statistics [?] [X]

General | Criteria | Statistics

Statistics on value

Worst: 124.773454 dB when: t = 0 days 06:29:00

Average: 97.50861 dB Standard deviation: 13.404067 dB

Statistics on events

Number steps bad: 113 out of: 1001 = 11.288711 %

Number of events: 101

Longest event: 2 steps when: t = 0 days 00:08:00

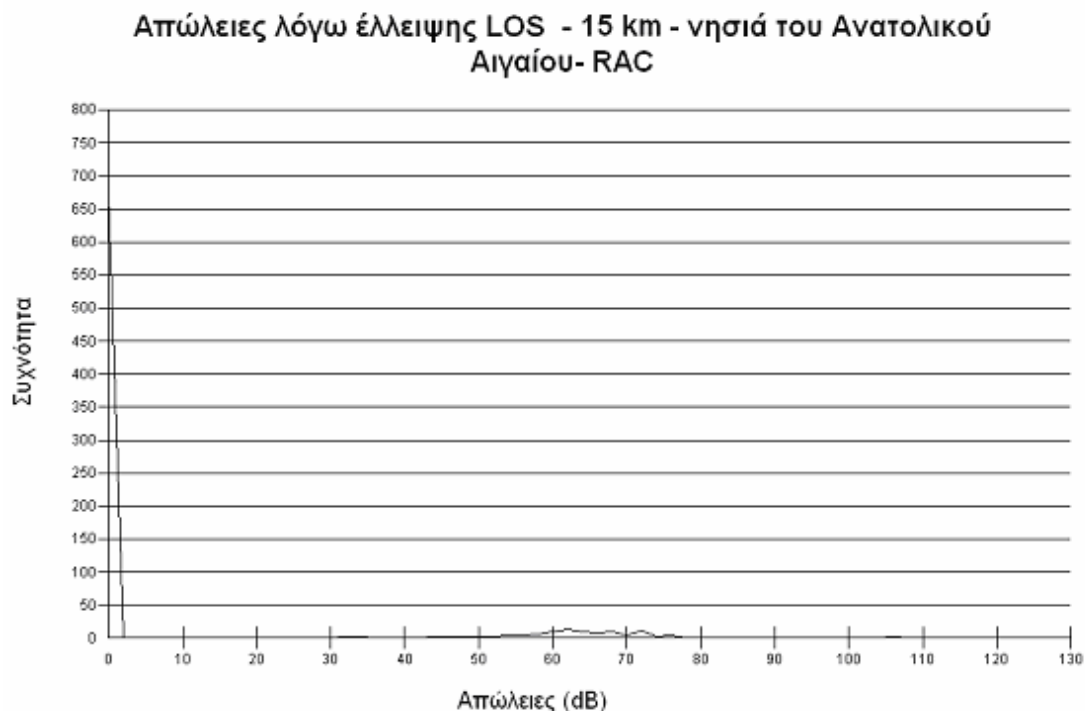
Average event length: 1.118812 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	209	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.59 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη -15 km



Διάγραμμα 6.16 - Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών λόγω έλλειψης οπτικής επαφής μεταξύ της πλατφόρμας που βρίσκεται 15 km πάνω από τα νησιά του Ανατολικού Αιγαίου και του επίγειου τερματικού στην RAC ζώνη

Παρατηρούμε ότι στη UAC ζώνη έχουμε 100% LOS, στην SAC ζώνη 94,2% ενώ στην RAC ζώνη 88,7% LOS. Συγκεκριμένα στην SAC ζώνη σε 59 από τις 1001 θέσεις που πήρε ο σταθμός, οι απώλειες λόγω περίθλασης ήταν μεγαλύτερες από το όριο των 11.81 db που θέσαμε για να υπάρχει οπτική επαφή, ενώ στην RAC ζώνη σε 113 από τις 1001 θέσεις ξεπεράστηκε το αντίστοιχο όριο των 12.42 db.

- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από τα Δωδεκάνησα και τις Κυκλάδες έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

Edit statistics

General | Criteria | **Statistics**

Statistics on value

Worst: 0.0 dB when: t = 0 days 00:17:00

Average: -13.472216 dB Standard deviation: 7.490769 dB

Statistics on events

Number steps bad: 0 out of: 1001 = 0.0 %

Number of events: 0

Longest event: 0 steps when:

Average event length: 0.0 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	956	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.60 Ποσοστό LOS για την UAC ζώνη -15 km

Edit statistics [?] [X]

General | Criteria | Statistics

Statistics on value

Worst: 0.0 dB when: t = 0 days 00:00:00

Average: -3.367332 dB Standard deviation: 3.186555 dB

Statistics on events

Number steps bad: 0 out of: 1001 = 0.0 %

Number of events: 0

Longest event: 0 steps when:

Average event length: 0.0 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	540	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.61 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη -15 km

Edit statistics [?] [X]

General | Criteria | Statistics

Statistics on value

Worst: 156.144843 dB when: t = 0 days 03:56:00

Average: 126.142445 dB Standard deviation: 15.135428 dB

Statistics on events

Number steps bad: 22 out of: 1001 = 2.197802 %

Number of events: 22

Longest event: 1 steps when: t = 0 days 01:07:00

Average event length: 1.0 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	382	0	0	0	0	

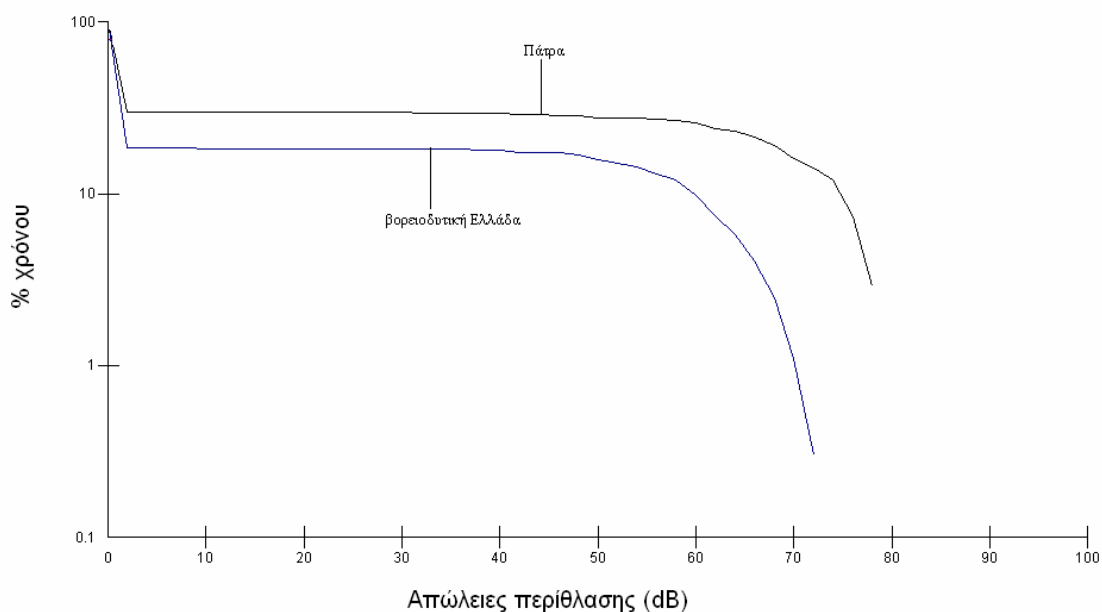
OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.62 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη -15 km

Παρατηρούμε ότι στις UAC και SAC ζώνες έχουμε 100% LOS, ενώ στην RAC ζώνη 97,8% LOS. Συγκεκριμένα σε 22 από τις 1001 θέσεις που πήρε ο σταθμός μέσα στην RAC ζώνη, οι απώλειες λόγω περίθλασης ήταν μεγαλύτερες από το όριο των 12.42 dB που θέσαμε για να υπάρχει οπτική επαφή.

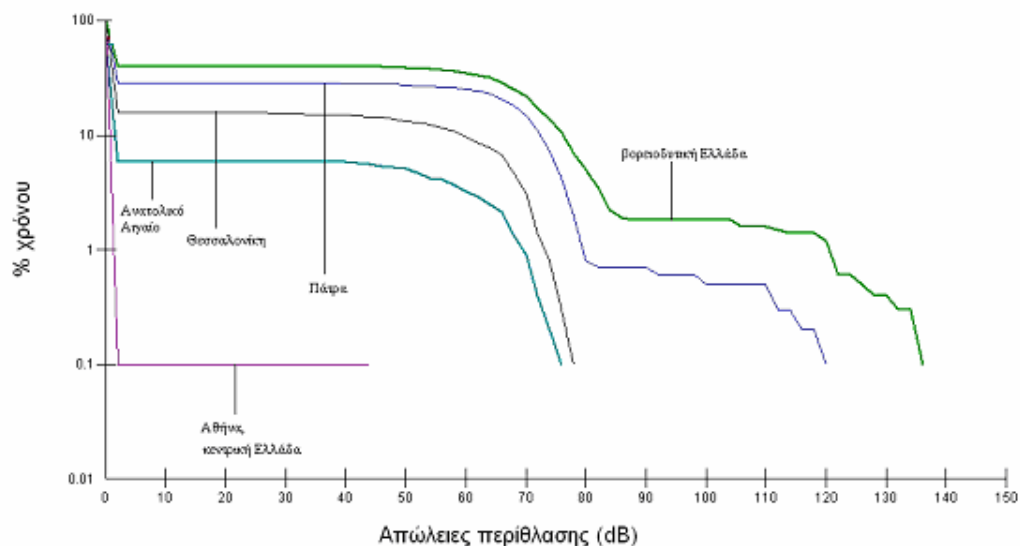
Στη συνέχεια ακολουθεί το διάγραμμα της αθροιστικής συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών περίθλασης μεταξύ των πλατφορμών και των επίγειων σταθμών που τοποθετήσαμε στην UAC ζώνη. Επειδή για τις περισσότερες ζεύξεις που αντιστοιχούν στη UAC ζώνη, το LOS ήταν εξαιρετικό, στο διάγραμμα απεικονίζονται οι ζεύξεις μόνο για τις «προβληματικές» περιοχές.

Αθροιστική κατανομή πιθανότητας για πλατφόρμες στα 15 km UAC ζώνη



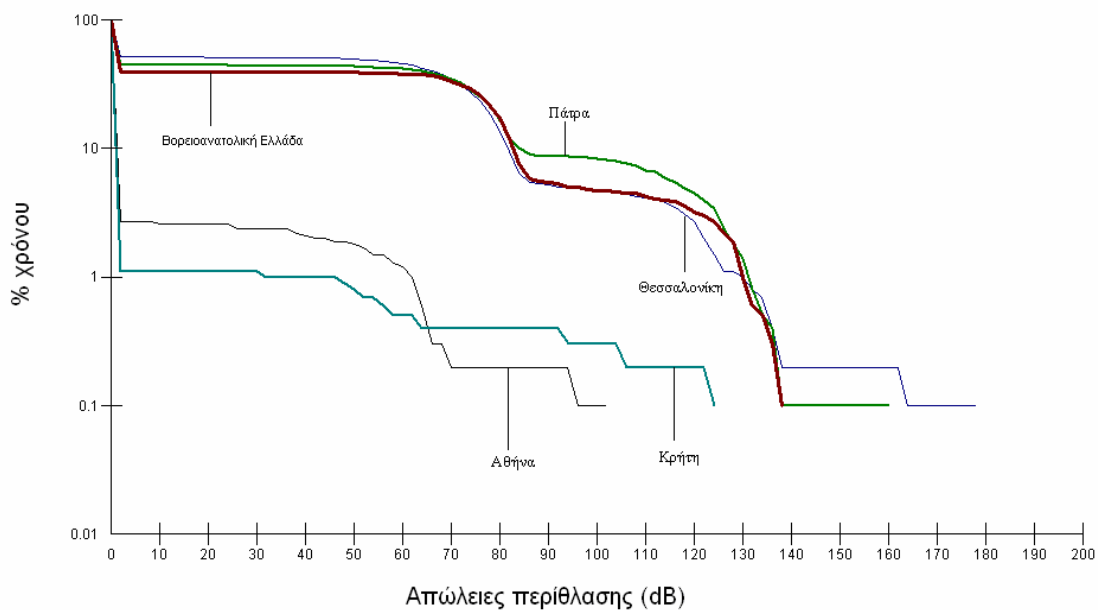
Διάγραμμα 6.17 Αθροιστική συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών περίθλασης μεταξύ των πλατφορμών και των επίγειων σταθμών (UAC ζώνη)

Στην SAC ζώνη υπάρχει μεγαλύτερο πρόβλημα, οπότε απεικονίζονται τα στατιστικά για 6 από τις 10 πλατφόρμες.

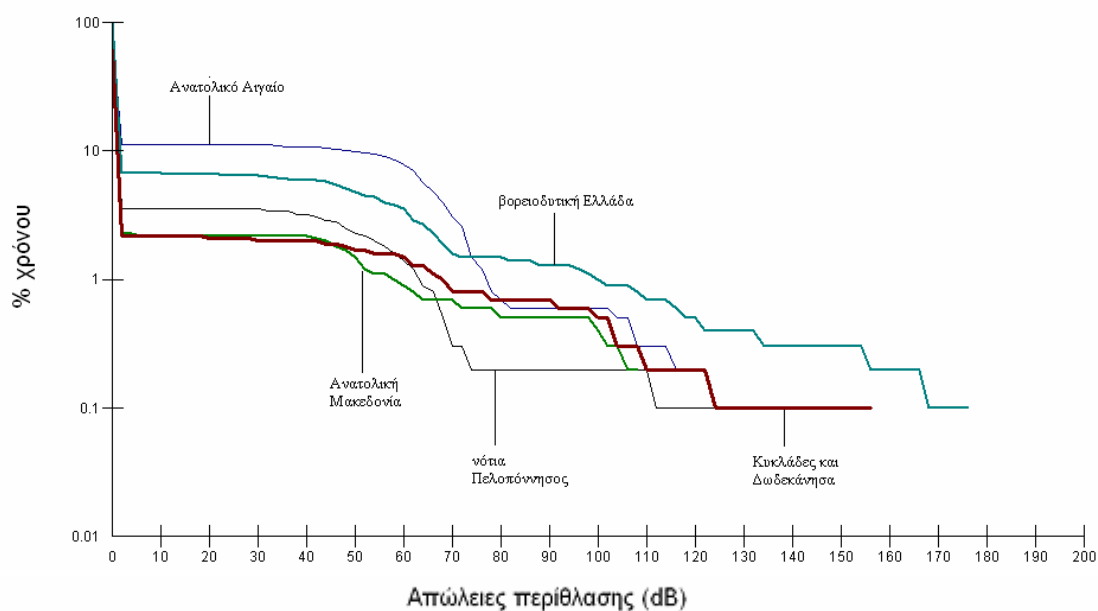


Διάγραμμα 6.18 Αθροιστική συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών περιθλασης μεταξύ των πλατφορμών και των επίγειων σταθμών (SAC ζώνη)

Στην RAC ζώνη το πρόβλημα καθίσταται ιδιαίτερα έντονο και κρίθηκε αναγκαία η απεικόνιση των απωλειών για όλες τις πλατφόρμες. Επειδή το Visualyse παρέχει τη δυνατότητα για ταυτόχρονη απεικόνιση έως 6 ζεύξεων, χωρίσαμε τις 10 πλατφόρμες σε δύο ομάδες των 5 πλατφορμών και δημιουργήσαμε δύο διαγράμματα.



Διάγραμμα 6.19 Αθροιστική συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών περίθλασης μεταξύ των πλατφορμών και των επίγειων σταθμών (RAC ζώνη)

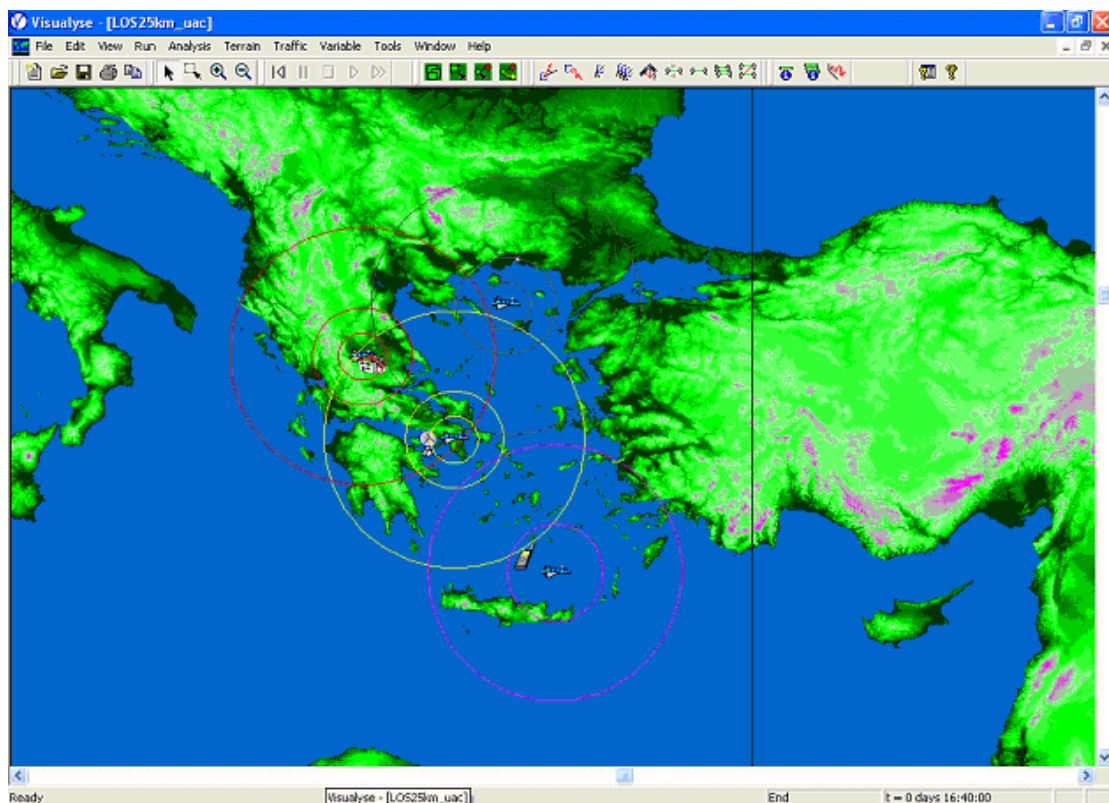


Διάγραμμα 6.20 Αθροιστική συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών περίθλασης μεταξύ των πλατφορμών και των επίγειων σταθμών (RAC ζώνη)

Παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα που προέκυψαν στο σενάριο αυτό, είναι εμφανώς χειρότερα από τα αντίστοιχα του σεναρίου των 21 km. Αυτό οφείλεται κυρίως στο χαμηλότερο ύψος των πλατφορμών, μιας και όσο μειώνεται το ύψος αυτών τόσο πιο πολύ τα εμπόδια (βουνά και ανωμαλίες του εδάφους) επηρεάζουν τις ζεύξεις. Περιοχές όπως τα νησιά του Αιγαίου, η Κρήτη, η νότια Πελοπόννησος, η Αθήνα, η κεντρική Ελλάδα και η ανατολική Μακεδονία, έχουν ικανοποιητικό LOS και αυτό οφείλεται στην ομαλότητα του εδάφους των περιοχών αυτών. Αντίθετα περιοχές με πολύ ανώμαλο έδαφος όπως η Κέρκυρα, η βόρεια Πελοπόννησος και η κεντρική Μακεδονία έχουν πολύ μεγάλες απώλειες ακόμα και στις UAC περιοχές, πράγμα που καθιστά ανεπαρκές το σενάριο στα 15 km , οπότε και δεν προτείνεται ως λύση.

6.4 Σενάριο 3^ο : Ραδιοκάλυψη της Ελλάδας με τις πλατφόρμες τοποθετημένες στα 25 km

Για τη ραδιοκάλυψη της Ελλάδος, με τις πλατφόρμες τοποθετημένες στα 25 km, χρησιμοποιήσαμε συνολικά 4 πλατφόρμες. Σαν πρώτο βήμα μελετήσαμε ξεχωριστά για κάθε ζώνη της περιοχής κάλυψης της κάθε πλατφόρμας, το ποσοστό των ζεύξεων στις οποίες υπήρχε οπτική επαφή (LOS- Line Of Sight) ανάμεσα στην πλατφόρμα και στον επίγειο σταθμό, καθώς ο τελευταίος κινείται με τυχαία κατανομή εντός των ορίων της αντίστοιχης ζώνης.



Σχήμα 6.63 Ραδιοκάλυψη της Ελλάδας στα 25 km

Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από την Αθήνα έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

Edit statistics

General Criteria **Statistics**

Statistics on value

Worst: 0.0 dB when: t = 0 days 00:00:00

Average: 0.0 dB Standard deviation: 0.0 dB

Statistics on events

Number steps bad: 0 out of: 1001 = 0.0 %

Number of events: 0

Longest event: 0 steps when:

Average event length: 0.0 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	0	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.64 Ποσοστό LOS για την UAC ζώνη -25 km

Edit statistics

General Criteria **Statistics**

Statistics on value

Worst: 60.613571 dB when: t = 0 days 02:42:00

Average: 32.563155 dB Standard deviation: 13.591469 dB

Statistics on events

Number steps bad: 5 out of: 1001 = 0.4995 %

Number of events: 5

Longest event: 1 steps when: t = 0 days 01:35:00

Average event length: 1.0 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	0	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.65 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη -25 km

Edit statistics

General Criteria **Statistics**

Statistics on value

Worst: 123.857391 dB when: t = 0 days 14:46:00

Average: 98.241514 dB Standard deviation: 12.781913 dB

Statistics on events

Number steps bad: 26 out of: 1001 = 2.597403 %

Number of events: 26

Longest event: 1 steps when: t = 0 days 01:15:00

Average event length: 1.0 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	0	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.66 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη -25 km

Παρατηρούμε ότι στη UAC ζώνη έχουμε 100% LOS, στην SAC ζώνη 99.5% ενώ στην RAC ζώνη 97.4% LOS. Συγκεκριμένα στην SAC ζώνη σε 5 από τις 1001 θέσεις που πήρε ο σταθμός, οι απώλειες λόγω περίθλασης ήταν μεγαλύτερες από το όριο των 13.42db που θέσαμε για να υπάρχει οπτική επαφή, ενώ στην RAC ζώνη σε 26 από τις 1001 θέσεις ξεπεράστηκε το αντίστοιχο όριο των 17.03 db.

- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από τη βορειοανατολική Ελλάδα έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

Distribution						
Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	240	0	0	0	0	

Σχήμα 6.67 Ποσοστό LOS για την UAC ζώνη -25 km

Distribution						
Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	461	0	0	0	0	

Σχήμα 6.68 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη -25 km

Edit statistics

General | Criteria | **Statistics**

Statistics on value

Worst: 131.311316 dB when: t = 0 days 03:10:00

Average: 101.894971 dB Standard deviation: 14.593323 dB

Statistics on events

Number steps bad: 29 out of: 1001 = 2.897103 %

Number of events: 27

Longest event: 2 steps when: t = 0 days 03:27:00

Average event length: 1.074074 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	132	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.69 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη -25 km

Παρατηρούμε ότι στις UAC και SAC ζώνες έχουμε 100% LOS, ενώ στην RAC ζώνη 97,1% LOS. Συγκεκριμένα σε 29 από τις 1001 θέσεις που πήρε ο σταθμός μέσα στην RAC ζώνη, οι απώλειες λόγω περίθλασης ήταν μεγαλύτερες από το όριο των 17.03 db που θέσαμε για να υπάρχει οπτική επαφή.

Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από την κεντρική και βορειοδυτική Ελλάδα έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

Distribution						
Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	0	0	0	0	0	

Σχήμα 6.70 Ποσοστό LOS για την UAC ζώνη -25 km

Distribution						
Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	0	0	0	0	0	

Σχήμα 6.71 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη -25 km

Edit statistics [?] [X]

General Criteria **Statistics**

Statistics on value

Worst: 163.361397 dB when: t = 0 days 00:03:00

Average: 133.425898 dB Standard deviation: 15.070834 dB

Statistics on events

Number steps bad: 51 out of: 1001 = 5.094905 %

Number of events: 49

Longest event: 2 steps when: t = 0 days 00:04:00

Average event length: 1.040816 steps

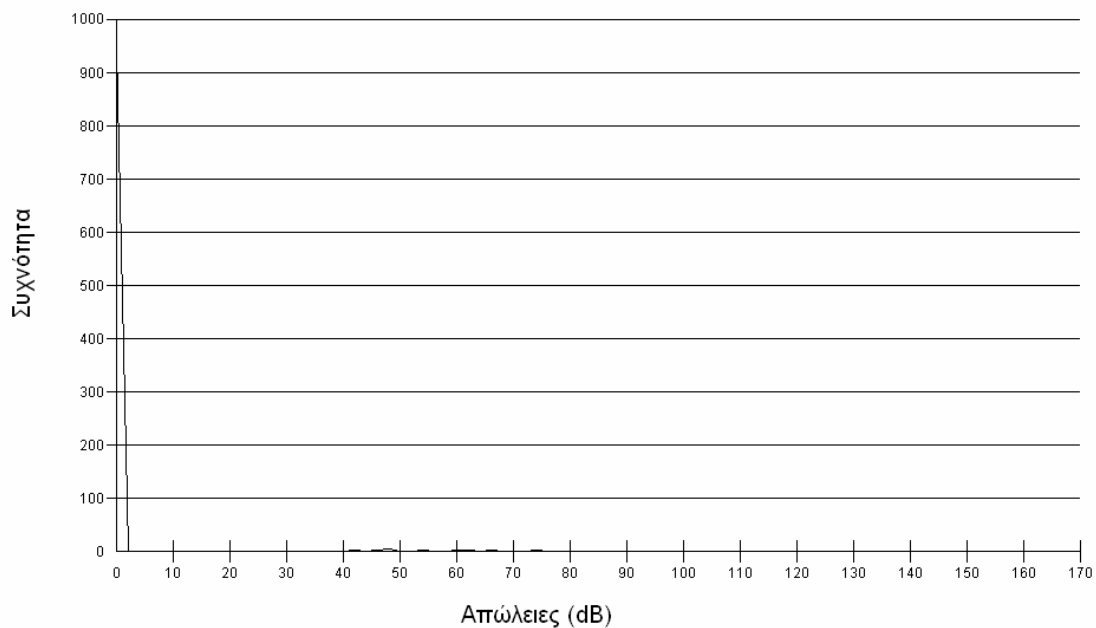
Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	0	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.72 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη -25 km

Απώλειες λόγω έλλειψης LOS - 25 km - κεντρική και βορειοδυτική Ελλάδα - RAC



Διάγραμμα 6.21 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών λόγω έλλειψης οπτικής επαφής μεταξύ της πλατφόρμας που βρίσκεται 25 km πάνω από την Κεντρική και Βορειοδυτική Ελλάδα και του επίγειου τερματικού στην RAC ζώνη

Παρατηρούμε ότι στη UAC ζώνη έχουμε 100% LOS, στην SAC ζώνη 99.7% ενώ στην RAC ζώνη 94.9% LOS. Συγκεκριμένα στην SAC ζώνη σε 3 από τις 1001 θέσεις που πήρε ο σταθμός, οι απώλειες λόγω περίθλασης ήταν μεγαλύτερες από το όριο των 13.42 db που θέσαμε για να υπάρχει οπτική επαφή, ενώ στην RAC ζώνη σε 51 από τις 1001 θέσεις ξεπεράστηκε το αντίστοιχο όριο των 17.03 db.

- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από την Κρήτη και τα νησιά του Αιγαίου έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

Edit statistics

General | Criteria | Statistics

Statistics on value

Worst: 0.0 dB when: t = 0 days 00:01:00

Average: -3.386214 dB Standard deviation: 3.195645 dB

Statistics on events

Number steps bad: 0 out of: 1001 = 0.0 %

Number of events: 0

Longest event: 0 steps when:

Average event length: 0.0 steps

Distribution

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	542	0	0	0	0	

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 6.73 Ποσοστό LOS για την SAC ζώνη -25 km

Bin start value:	Below range	-1000.0	-998.0	-996.0	-994.0	dB
Occurrences:	236	0	0	0	0	

Σχήμα 6.74 Ποσοστό LOS για την RAC ζώνη -25 km

Παρατηρούμε ότι στην SAC ζώνη 100% ενώ στην RAC ζώνη 99.2% LOS. Συγκεκριμένα στην RAC ζώνη σε 8 από τις 1001 θέσεις ξεπεράστηκε το αντίστοιχο όριο των 17.03 db.

Τα αποτελέσματα του σεναρίου των 25 km ήταν καλύτερα των άλλων δύο όσον αφορά την ύπαρξη οπτικής επαφής μεταξύ του HAP και του επίγειου σταθμού. Λόγω του μεγάλου ύψους της πλατφόρμας, τα φυσικά και τεχνητά εμπόδια του εδάφους δεν παίζουν σημαντικό ρόλο και δεν παρεμβάλλονται στην ευθεία της ζεύξης. Επιπλέον, η μεγάλη επιφάνεια κάλυψης κάθε πλατφόρμας μας οδήγησε στη χρησιμοποίηση μόνο 4 πλατφορμών, γεγονός που κατέστησε τη μελέτη ευκολότερη και το σενάριο με μικρότερο κόστος.

Το μεγάλο όμως υψόμετρο συνεπάγεται και κάποια επιπλέον προβλήματα που δεν έχουν σε τόσο έντονο βαθμό τα υπόλοιπα σενάρια, όπως η διατήρηση της πλατφόρμας. Για ευνόητους λόγους, κρίνεται πιο δύσκολη η ανέλκυση της πλατφόρμας και η διατήρηση της σε ένα τόσο μεγάλο ύψος. Επομένως δε θα μπορέσει να καλύψει περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης στις οποίες απαιτείται άμεση τοποθέτηση της πλατφόρμας για την εξυπηρέτηση τηλεπικοινωνιακών σκοπών.

Βιβλιογραφία 6^{ου} κεφαλαίου

- [1] ITU-R RECOMMENDATION F.1500, *Preferred characteristics of systems in the fixed service using high altitude platforms operating in the bands 47.2-47.5 GHz and 47.9-48.2 GHz*
- [2] ITU-R RECOMMENDATION P.526-7, *Propagation by diffraction*
- [3] *Δορυφορικές Επικοινωνίες: Συστήματα, Τεχνικές και Τεχνολογία*, G. MARAL – M. BOUSQUET, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2000

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

ΜΕΛΕΤΗ ΣΗΜΑΤΟΘΟΡΥΒΙΚΟΥ ΛΟΓΟΥ ΓΙΑ ΤΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΡΑΔΙΟΚΑΛΥΨΗΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

7.1 Εισαγωγή

Στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι να μελετήσουμε με βάση τα σενάρια ραδιοκάλυψης που παρουσιάσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, το σηματοθορυβικό λόγο των άνω και κάτω ζεύξεων μεταξύ των επιγείων σταθμών και πλατφορμών και να τον συγκρίνουμε με τον απαιτούμενο σηματοθορυβικό λόγο για την παροχή κάποιων υπηρεσιών. Στη συνέχεια θα ορίσουμε το απαραίτητο μέσο περιθώριο που απαιτείται έτσι ώστε να εξασφαλίσουμε την καλή λειτουργία των ζεύξεων ακόμα και υπό δυσμενείς συνθήκες, δηλαδή σε περιπτώσεις που οι ζεύξεις έχουν μεγάλες απώλειες.

7.2 Τύποι υπηρεσιών και εφαρμογών κατάλληλων για HAPs και παράμετροι επικοινωνίας

Οι υπηρεσίες που μελετήσαμε αφορούν μετάδοση δεδομένων, ήχου (audio) και κινούμενης εικόνας (video) και μπορούν να χωριστούν σε διαφορετικές ομάδες υπηρεσιών, ανάλογα με το ρυθμό μετάδοσης της πληροφορίας. Στην πρώτη ομάδα ανήκουν υπηρεσίες με ρυθμούς μετάδοσης από 256 kbps έως 384 kbps, στην δεύτερη αυτές με ρυθμούς από 385 kbps έως 2000 kbps και τέλος στην τρίτη ομάδα υπηρεσίες με ρυθμούς μετάδοσης μεγαλύτερους από 2 Mbps. Σε κάθε ομάδα, τα χαρακτηριστικά κίνησης όπως ο ρυθμός μετάδοσης, η λανθάνουσα καθυστέρηση, η εκρηκτικότητα (δηλαδή ο λόγος του μέγιστου ρυθμού μετάδοσης προς το μέσο ρυθμό μετάδοσης) και ο ρυθμός λαθών BER διαφοροποιούνται και μπορούν να κατηγοριοποιηθούν όπως φαίνεται στους ακόλουθους πίνακες για κάποιες ενδεικτικές εφαρμογές:

➤ 1^η ομάδα: ρυθμοί μετάδοσης από 256 kbps έως 384 kbps

Εφαρμογή	Ρυθμός μετάδοσης (Kb/s)	Λανθάνουσα καθυστέρηση (ms)	Εκρηκτικότητα (μέγιστος ρυθμός μετάδοσης προς μέσο ρυθμό μετάδοσης)	BER
ISDN βίντεο-διάσκεψη	384	200	1-5	10^{-6}
Μεταφορά αρχείων δεδομένων (FTP)	384	1000	1-50	10^{-6}
Περιήγηση στο δίκτυο	384	Μη πραγματικός χρόνος	1-20	10^{-6}
Ηλεκτρονικό εμπόριο	384	500	1-20	10^{-6}

Πίνακας 7.1 Υπηρεσίες για ρυθμούς μετάδοσης από 256 kbps έως 384 kbps

2^η ομάδα: ρυθμοί μετάδοσης από 385 kbps έως 2000 kbps

Εφαρμογή	Ρυθμός μετάδοσης (Kb/s)	Λανθάνουσα καθυστέρηση (ms)	Εκρηκτικότητα (μέγιστος ρυθμός μετάδοσης προς μέσο ρυθμό μετάδοσης)	BER
Παρακολούθηση και έλεγχος	500	-	-	$10^{-6} / 10^{-4}$
Ηλεκτρονική αλληλογραφία για Υπηρεσίες πολυμέσων	1500	5 min	1-20	10^{-6}
Βίντεο-τηλέφωνο	2000	200	1-5	10^{-6}
Κινητή Τηλε-εργασία	2000	500	1-20	10^{-6}
Κινητή βίντεο-επιτήρηση	2000	200	1-5	10^{-6}
Ηλεκτρονική εφημερίδα	2000	500	1-5	10^{-6}

Πίνακας 7.2 Υπηρεσίες για ρυθμούς μετάδοσης από 385 kbps έως 2000 kbps

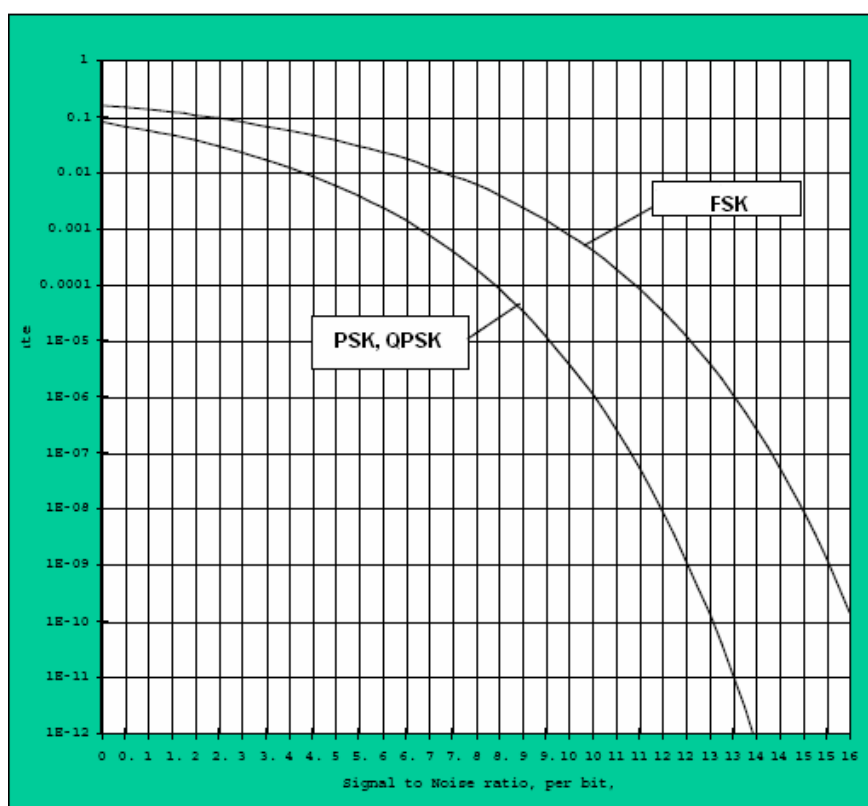
3^η ομάδα: ρυθμοί μετάδοσης μεγαλύτεροι από 2 mbps

Εφαρμογή	Ρυθμός μετάδοσης	Λανθάνουσα καθυστέρηση (ms)	Εκρηκτικότητα (μέγιστος ρυθμός μετάδοσης προς μέσο ρυθμό μετάδοσης)	BER
Βιβλιοθήκη πολυμέσων	2400 Kb/s	500	1-20	10^{-6}
Κινητές υπηρεσίες επειγουσών καταστάσεων	2800 Kb/s	200	1-20	10^{-6}
Τηλεοπτικά προγράμματα (MPEG2-4)	8000 Kb/s	500	1	10^{-6}
RadioLAN	10 Mb/s	Δεν υπάρχουν δεδομένα		10^{-6}
HomeRF2	10 Mb/s	Δεν υπάρχουν δεδομένα		10^{-6}
802.11b (Wi-Fi)	11 Mb/s	Δεν υπάρχουν δεδομένα		10^{-6}
HiperLAN2	54 Mb/s	QoS, για φωνή/βίντεο		$10^{-6}/10^{-8}$
802.11a	54 Mb/s			
802.11g	54 Mb/s			
802.11e	54 Mb/s	Προσθέτει QoS, δεν υπάρχει στο a,b και στο g		
802.16 (WiMAX)	70 Mb/s	QoS		
HiperMAN		Δεν υπάρχουν δεδομένα		

Πίνακας 7.3 Υπηρεσίες για ρυθμούς μετάδοσης μεγαλύτερους από 2 mbps

Για τη μεταφορά δεδομένων στο δίκτυο που εξετάσαμε, θεωρήσαμε ρυθμό μετάδοσης 384 Kb/s, ενώ για υπηρεσίες audio και video ρυθμό μετάδοσης 2 Mb/s. Όπως φαίνεται και από τους παραπάνω πίνακες, για να θεωρηθούν οι υπό εξέταση ζεύξεις αξιόπιστες απαιτείται ο ρυθμός λαθών BER να είναι το πολύ 10^{-6} , και για τις τρεις διαφορετικές υπηρεσίες που εξετάζουμε. Από την τιμή αυτή, και γνωρίζοντας ότι για τη μετάδοση χρησιμοποιείται διαμόρφωση QPSK, είναι δυνατό να προσδιοριστεί ο απαιτούμενος λόγος της ισχύος του σήματος πληροφορίας προς την ισχύ του θορύβου στην είσοδο του δέκτη του συστήματος C/N έτσι ώστε να ικανοποιείται το κριτήριο αξιοπιστίας του τηλεπικοινωνιακού συστήματος. Όπως έχει

ήδη αναφερθεί στο Κεφάλαιο 3, στα ψηφιακά συστήματα επικοινωνιών αντί του λόγου C/N , συνηθέστερα χρησιμοποιείται ο λόγος ενέργειας συμβόλου προς πυκνότητα ισχύος του θορύβου E_b/N_0 . Μετά από μελέτες που αφορούν την πιστότητα της μετάδοσης και κατά συνέπεια την αξιοπιστία του ψηφιακού τηλεπικοινωνιακού συστήματος έχουν διαμορφωθεί διαγράμματα του επιθυμητού ρυθμού λαθών BER συναρτήσει του απαιτούμενου λόγου E_b/N_0 για διαφορετικές κωδικοποιήσεις. Κάνοντας χρήση του διαγράμματος 7.1 προκύπτει ότι για επιθυμητό BER 10^{-6} και κωδικοποίηση QPSK η απαιτούμενη τιμή του λόγου E_b/N_0 είναι 10.5 dB ανεξαρτήτως ρυθμού μετάδοσης αφού όλες οι υπηρεσίες που εξετάσαμε απαιτούν BER το πολύ 10^{-6} .

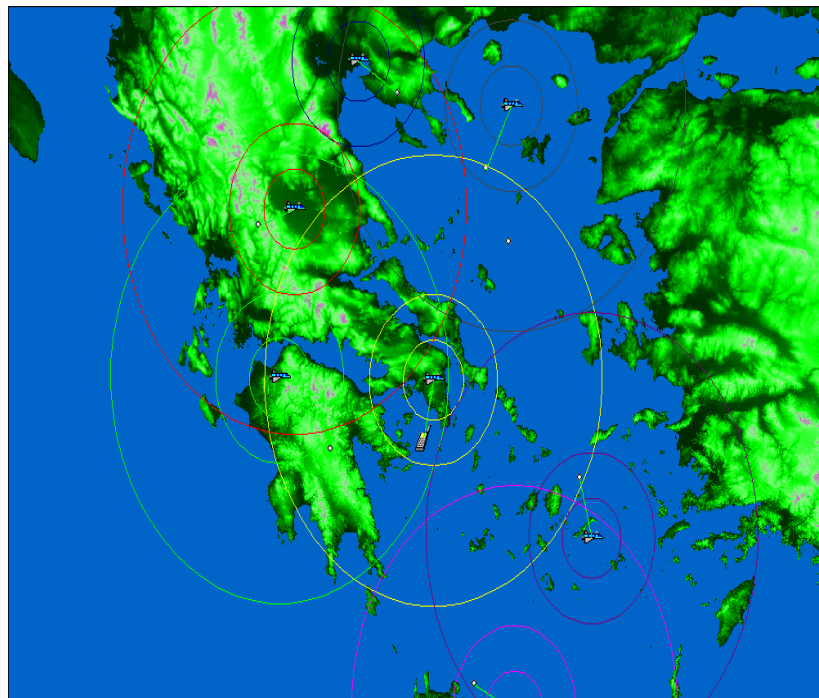


Διάγραμμα 7.1 Απαιτούμενος σηματοθρομβικός λόγος ανάλογα με το είδος κωδικοποίησης και το ανεκτό BER

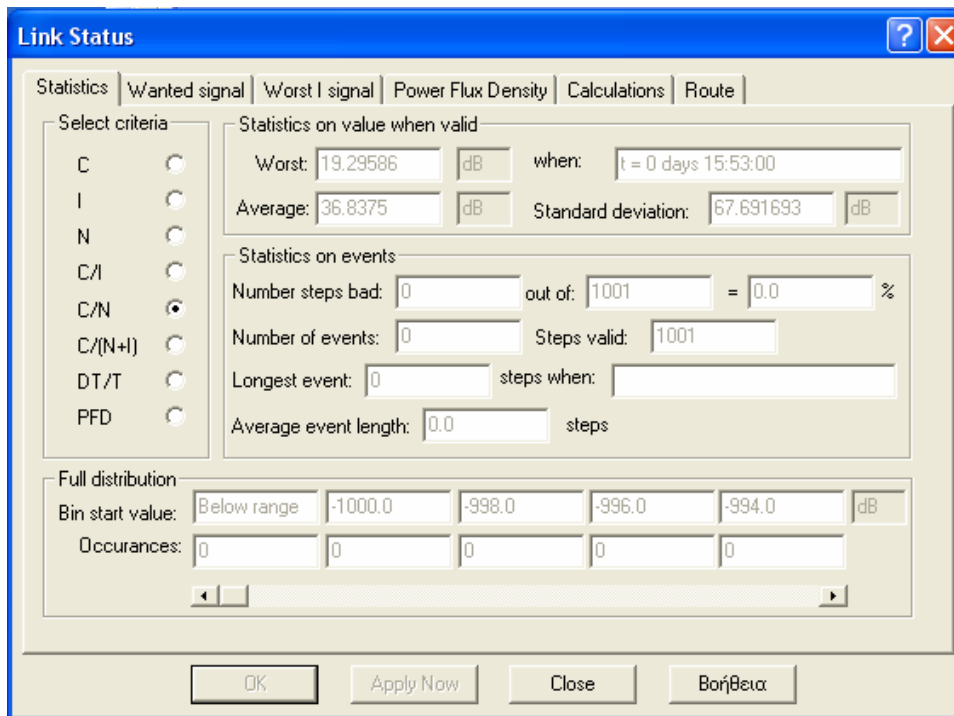
7.3 1^ο σενάριο: Ραδιοκάλυψη με τις πλατφόρμες τοποθετημένες στα 21 km και μελέτη του λόγου E_b/N_0

Χρησιμοποιώντας το σενάριο της ραδιοκάλυψης για τα 21 km , υπολογίσαμε το σηματοθορυβικό λόγο στην ζώνη κάλυψης της κάθε πλατφόρμας. Στη συνέχεια, συγκρίναμε τα παραπάνω αποτελέσματα με τον απαιτούμενο σηματοθορυβικό λόγο για μετάδοση δεδομένων, ήχου (audio) και κινούμενης εικόνας (video).

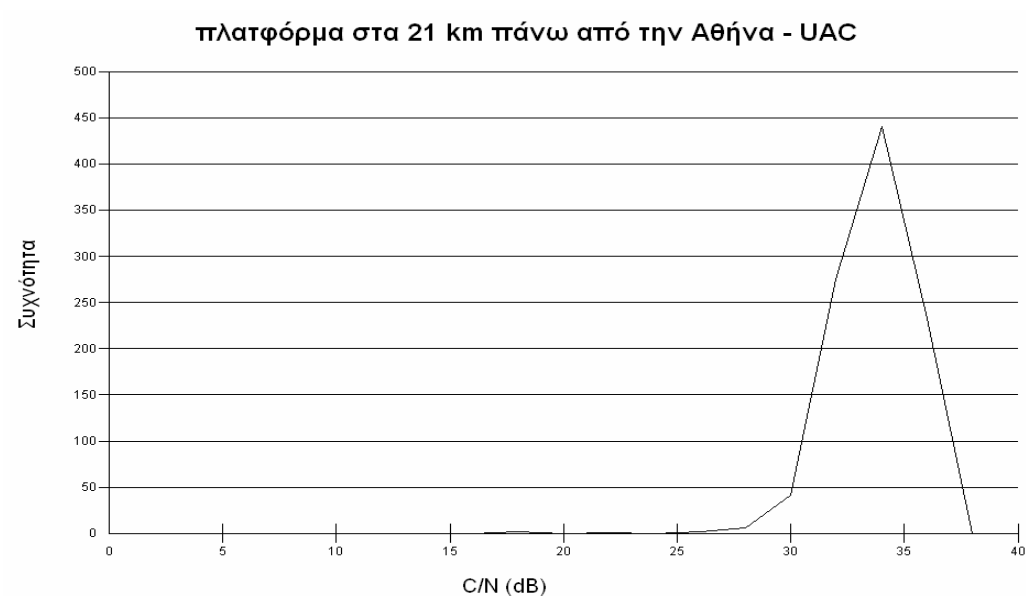
- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από την Αθήνα έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



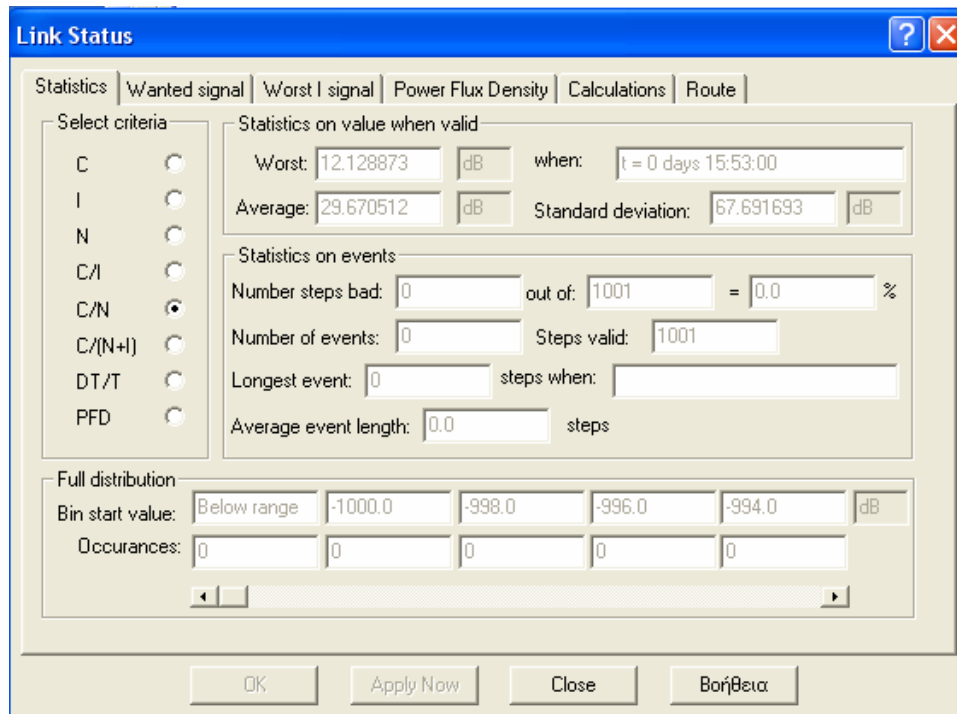
Σχήμα 7.1 Πλατφόρμα στα 21 km πάνω από την Αθήνα



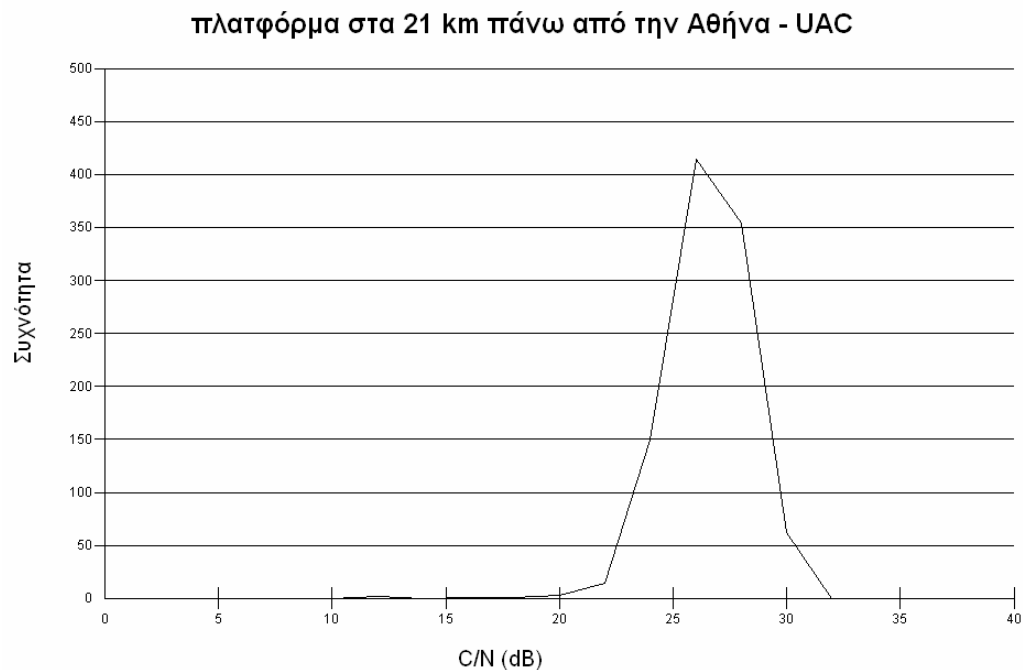
Σχήμα 7.2 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (21 km – UAC -384 kbps)



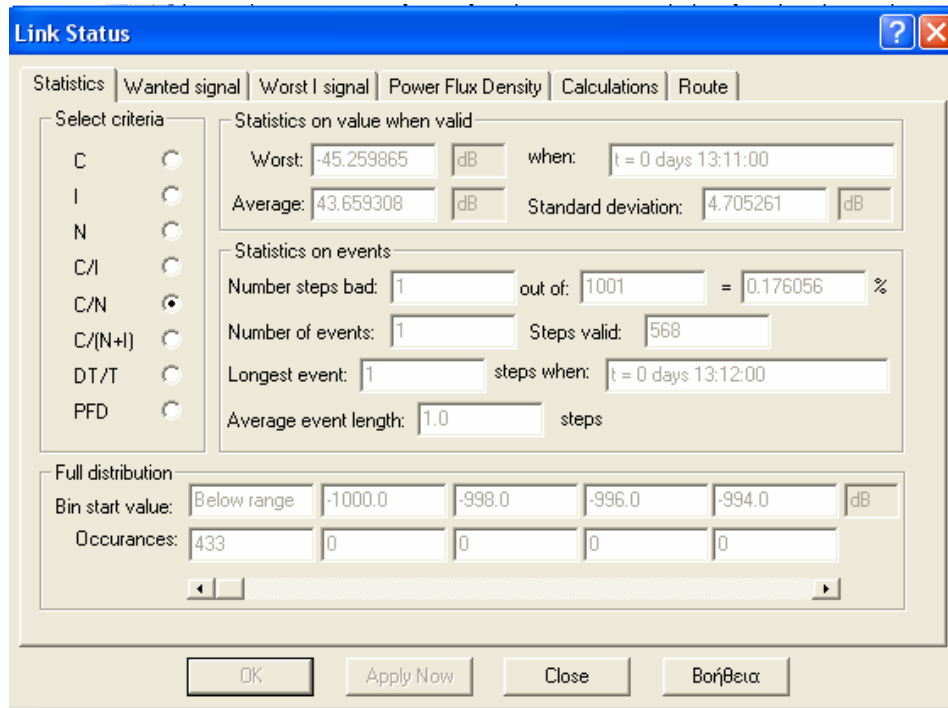
Διάγραμμα 7.2 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



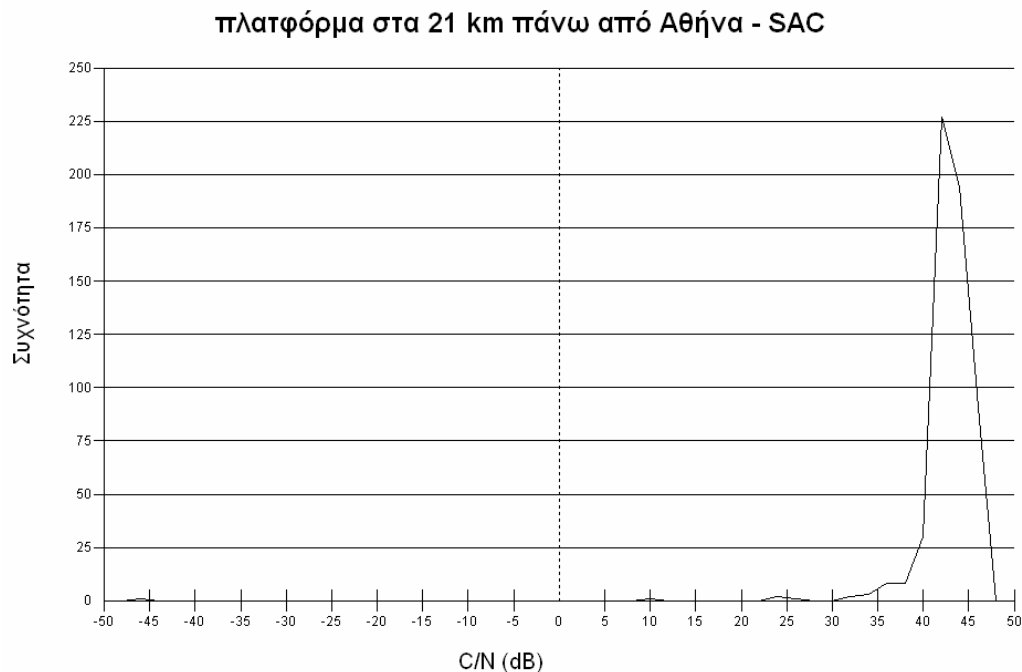
Σχήμα 7.3 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (21 km – UAC -2000 kbps)



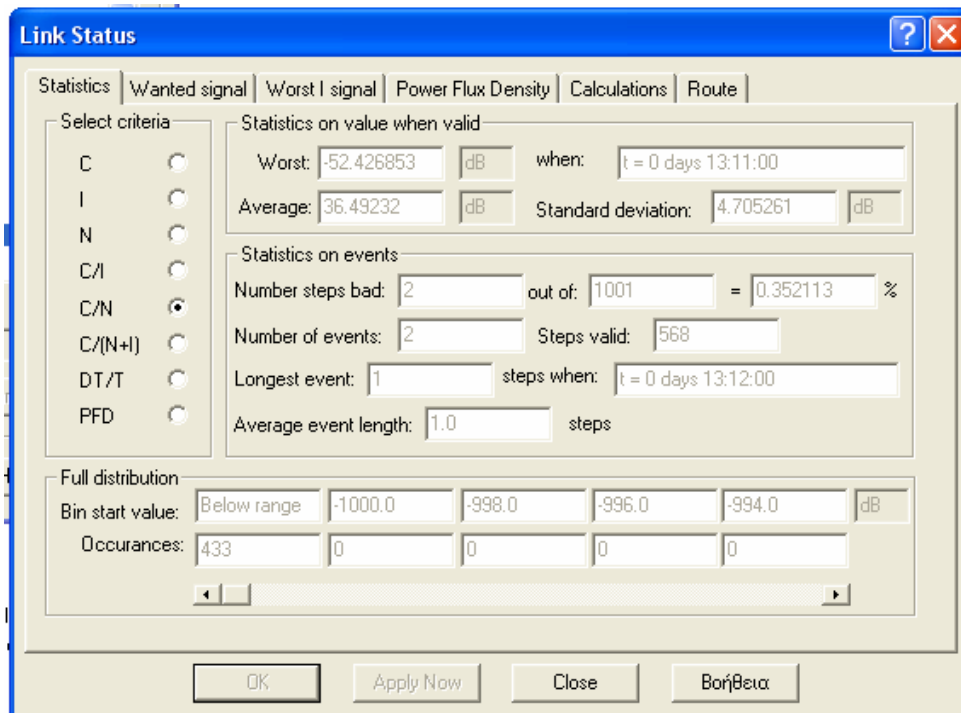
Διάγραμμα 7.3 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



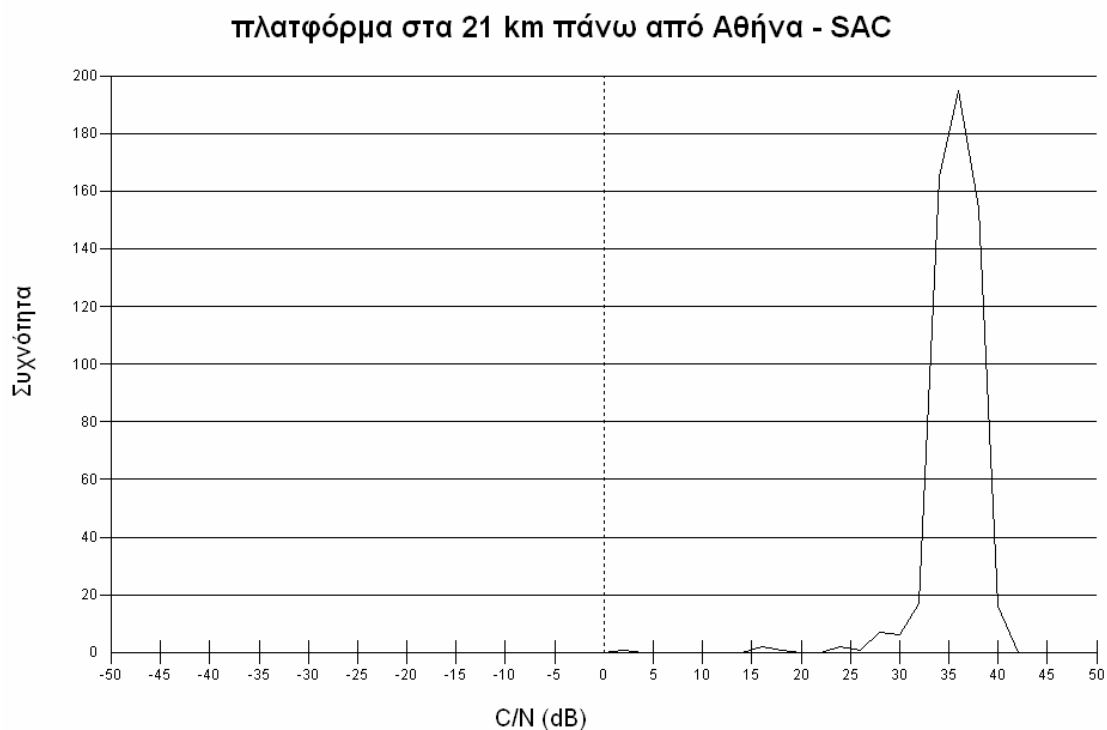
Σχήμα 7.4 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (21 km – SAC - 384 kbps)



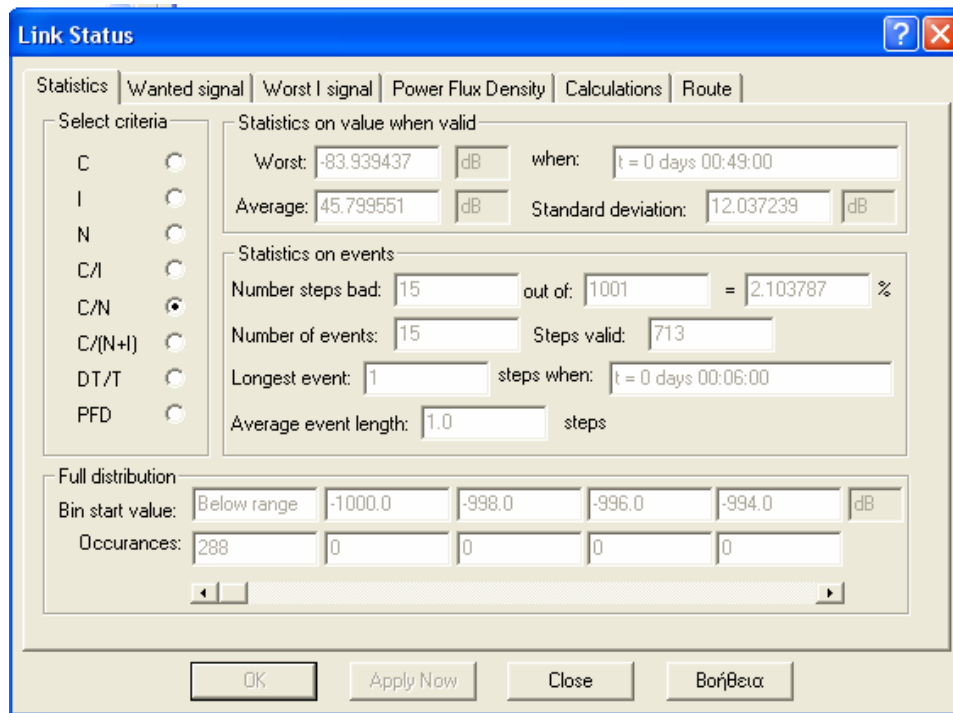
Διάγραμμα 7.4 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.5 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (21 km – SAC - 2000 kbps)

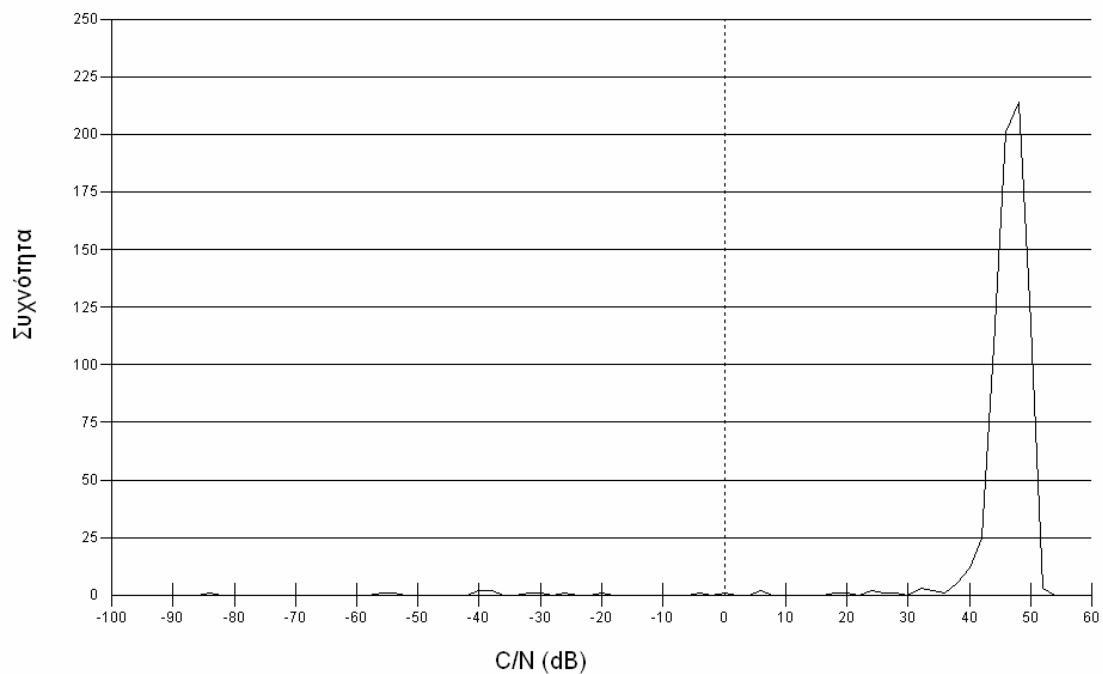


Διάγραμμα 7.5 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

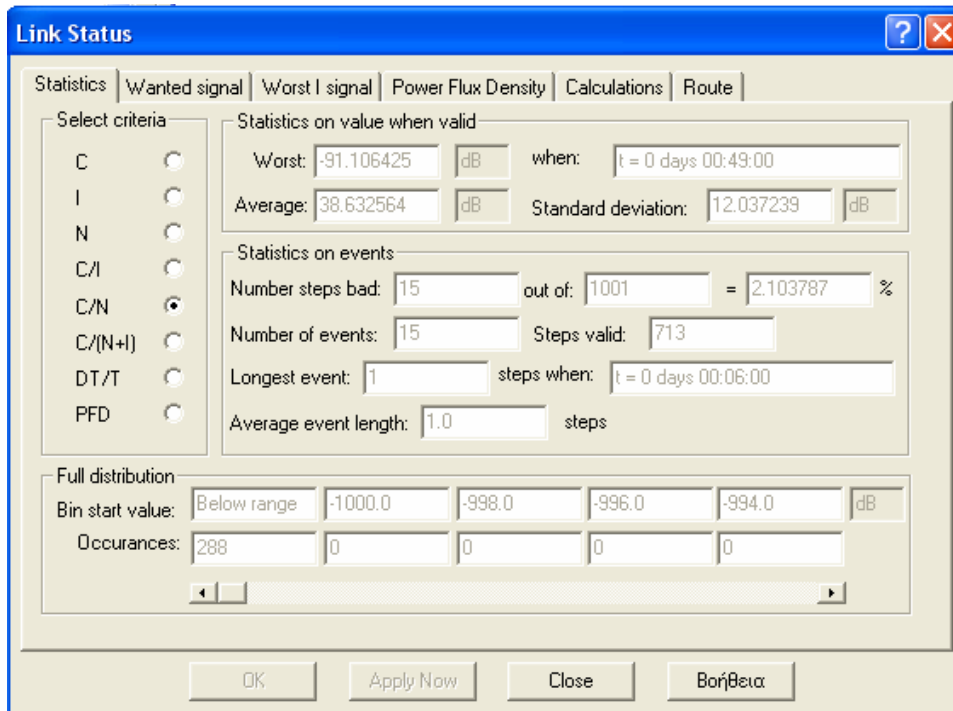


Σχήμα 7.6 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (21 km – RAC - 384 kbps)

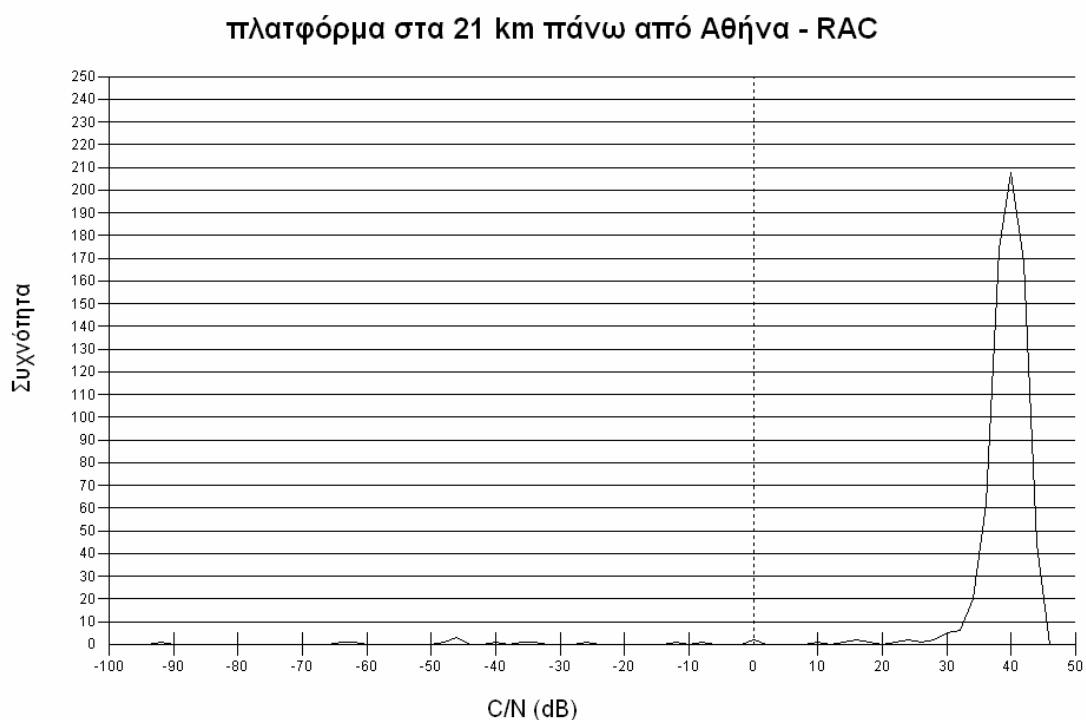
πλατφόρμα στα 21 km πάνω από Αθήνα - RAC



Διάγραμμα 7.6 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.7 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (21 km – RAC - 2000 kbps)



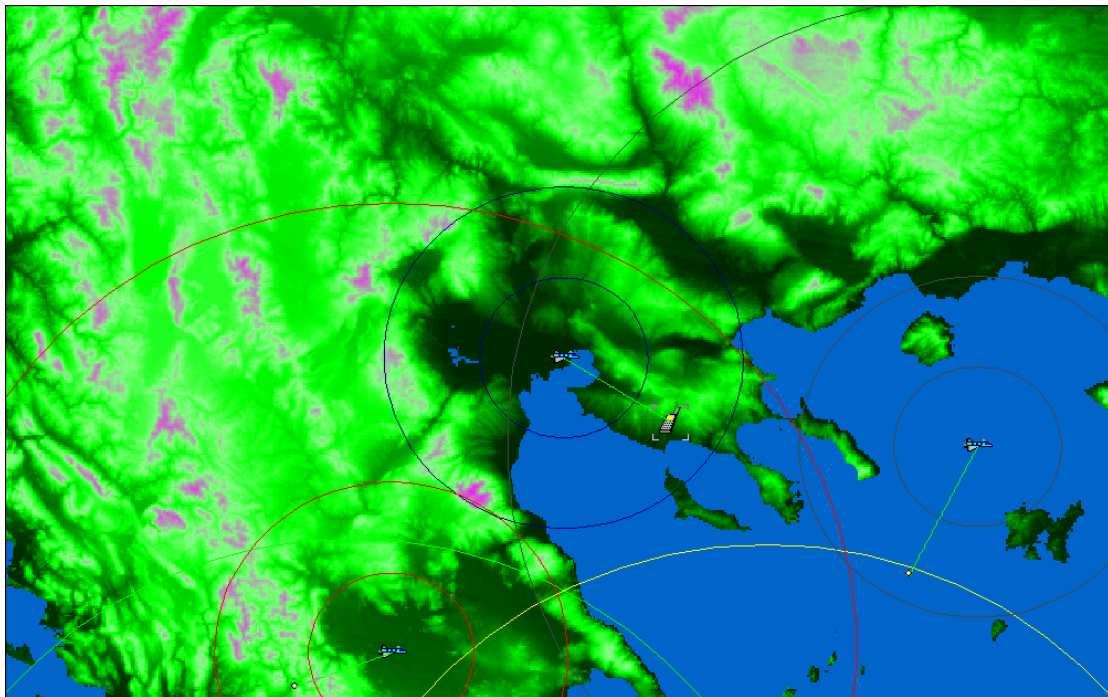
Διάγραμμα 7.7 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθρομβικού λόγου

Παρατηρούμε πως και στις τρεις ζώνες της περιοχής κάλυψης ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος που υπολογίσαμε είναι μεγαλύτερος του απαιτούμενου σηματοθορυβικού λόγου των 10.5 dB για μετάδοση τόσο δεδομένων όσο και audio και video.

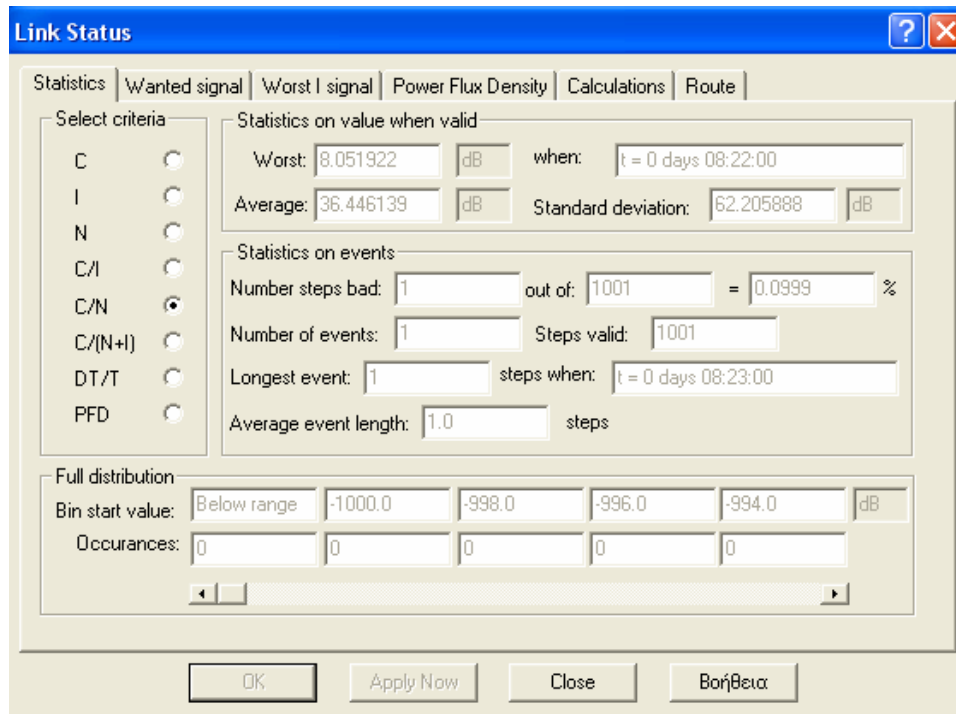
Συγκεκριμένα για ρυθμό μετάδοσης 384 kbps, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 36.84 dB, μέσο περιθώριο 26.34 dB ενώ 100% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 43.66 dB, μέσο περιθώριο 33.16 dB ενώ 99.82% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι 45.8 dB, το μέσο περιθώριο 35.3 dB ενώ 97.9% των μετρήσεων βρίσκεται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

Για ρυθμό μετάδοσης 2000 kbps, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 29.67 dB, μέσο περιθώριο 19.17 dB ενώ 100% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 35.49 dB, μέσο περιθώριο 24.99 dB ενώ έχουμε 99.65% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 38.63 dB, μέσο περιθώριο 28.13 dB ενώ έχουμε 97.9% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

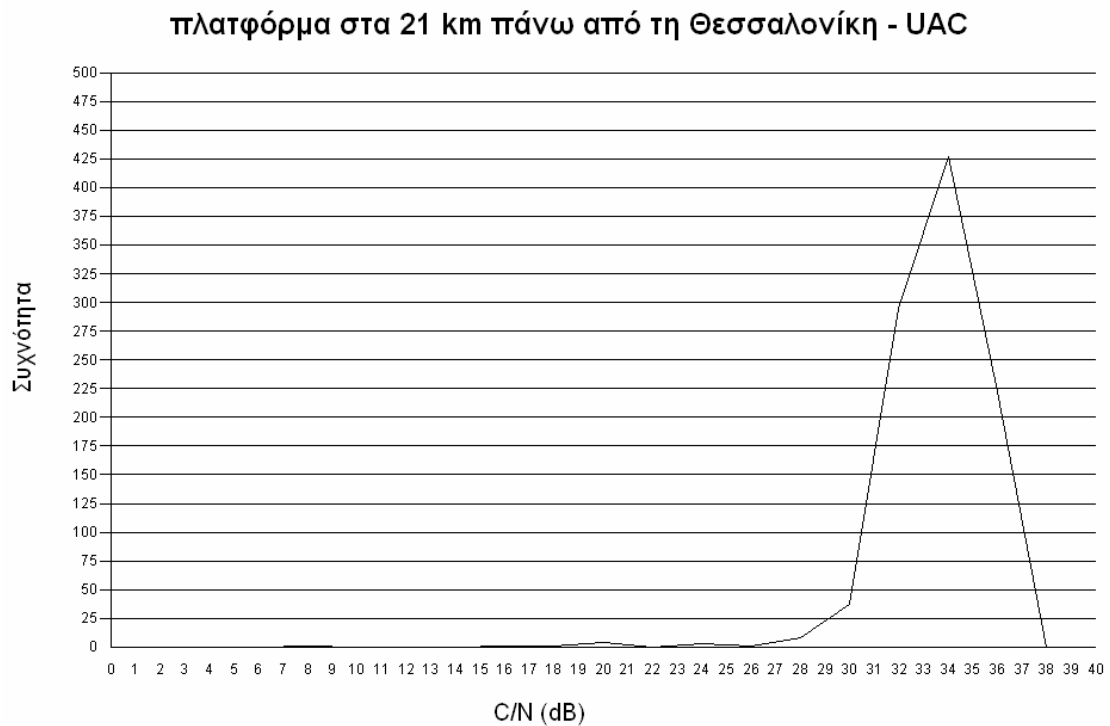
Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από τη Θεσσαλονίκη έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



Σχήμα 7.8 Πλατφόρμα στα 21 km πάνω από τη Θεσσαλονίκη



Σχήμα 7.9 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλονίκη (21 km – UAC - 384 kbps)



Διάγραμμα 7.8 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

Link Status [?] [X]

Statistics | Wanted signal | Worst I signal | Power Flux Density | Calculations | Route

Select criteria

C I N C/I C/N C/(N+I) DT/T PFD

Statistics on value when valid

Worst: 0.884935 dB when: t = 0 days 08:22:00

Average: 29.279151 dB Standard deviation: 62.205888 dB

Statistics on events

Number steps bad: 2 out of: 1001 = 0.1998 %

Number of events: 2 Steps valid: 1001

Longest event: 1 steps when: t = 0 days 00:14:00

Average event length: 1.0 steps

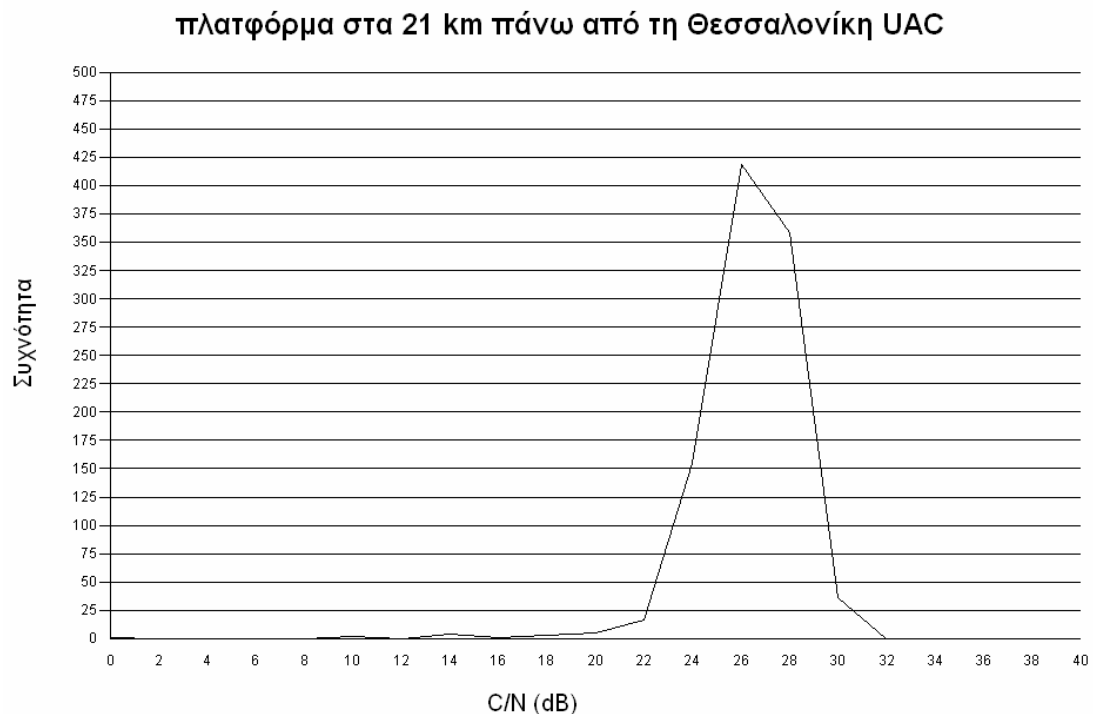
Full distribution

Bin start value: Below range -1000.0 -998.0 -996.0 -994.0 dB

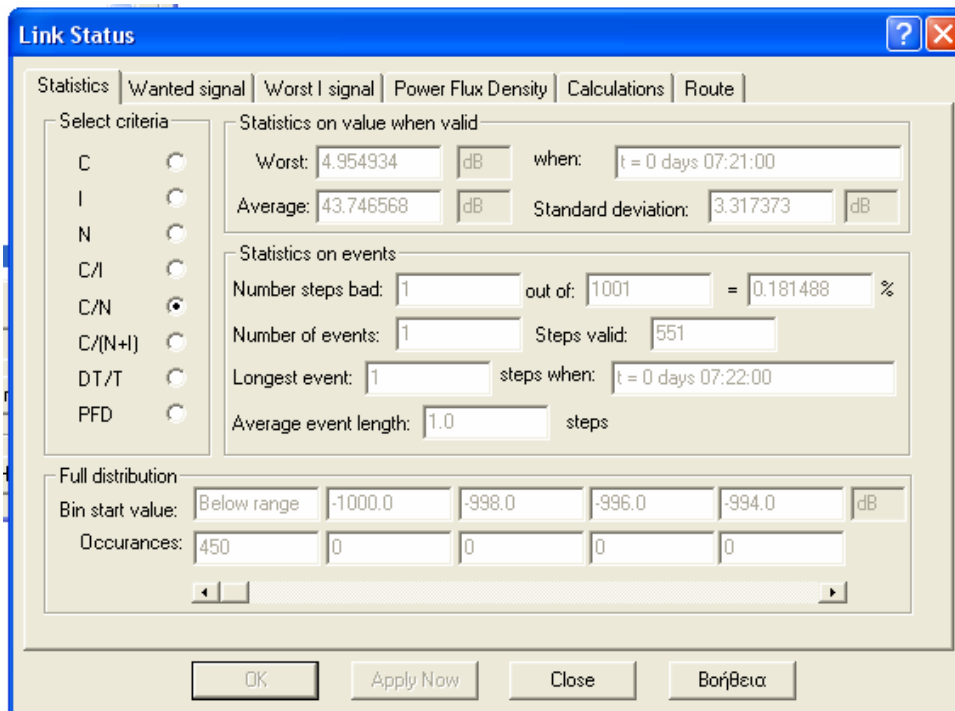
Occurrences: 0 0 0 0 0

OK Apply Now Close Βοήθεια

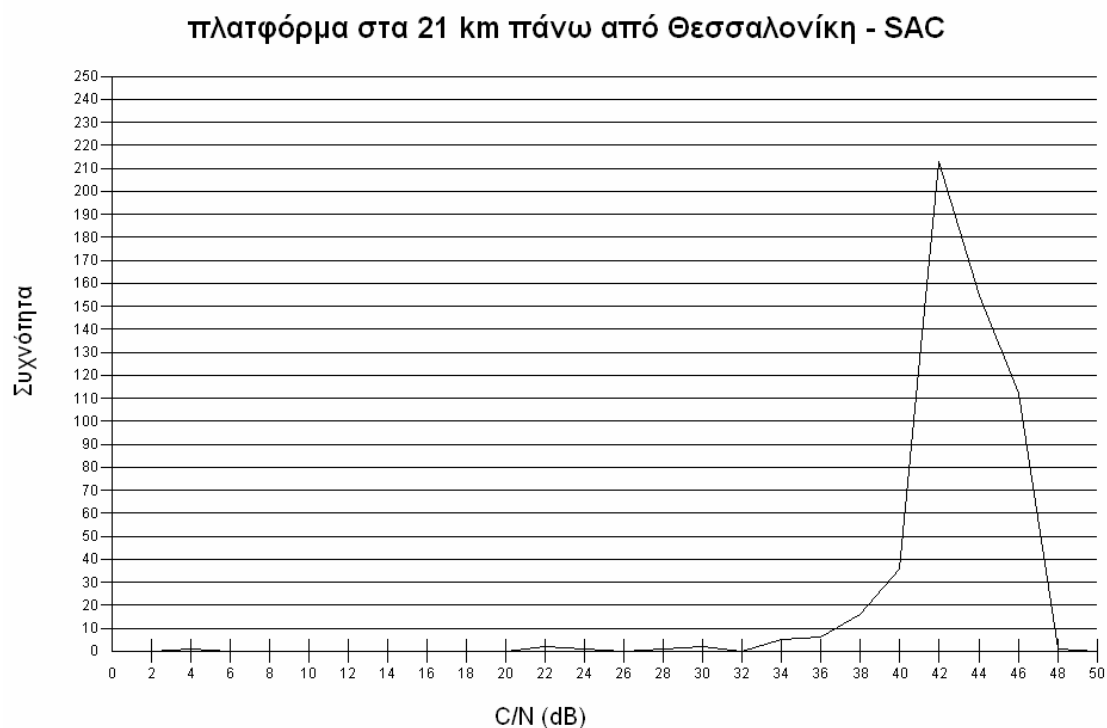
Σχήμα 7.10 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλονίκη (21 km – UAC -2000 kbps)



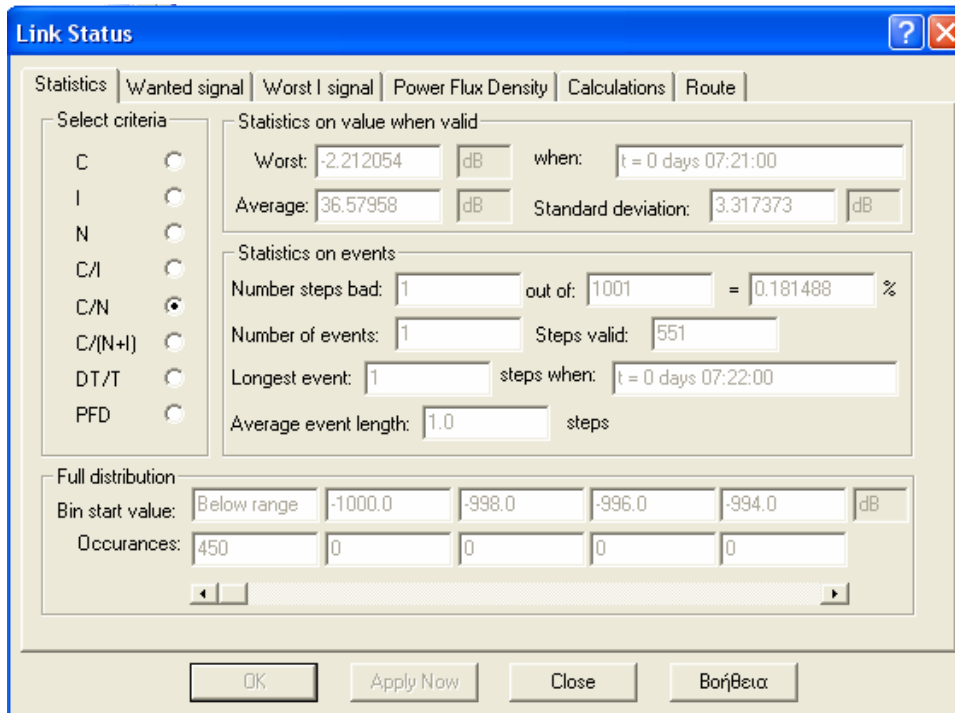
Διάγραμμα 7.9 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.11 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλονίκη (21 km – SAC - 384 kbps)

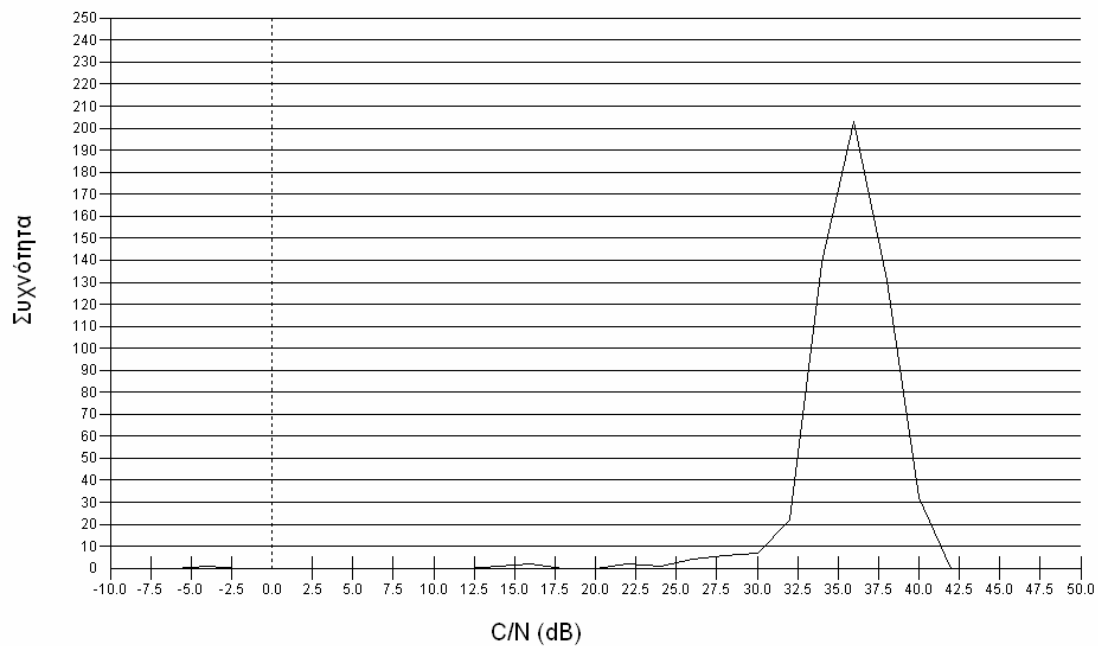


Διάγραμμα 7.10 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.12 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλονίκη (21 km – SAC - 2000 kbps)

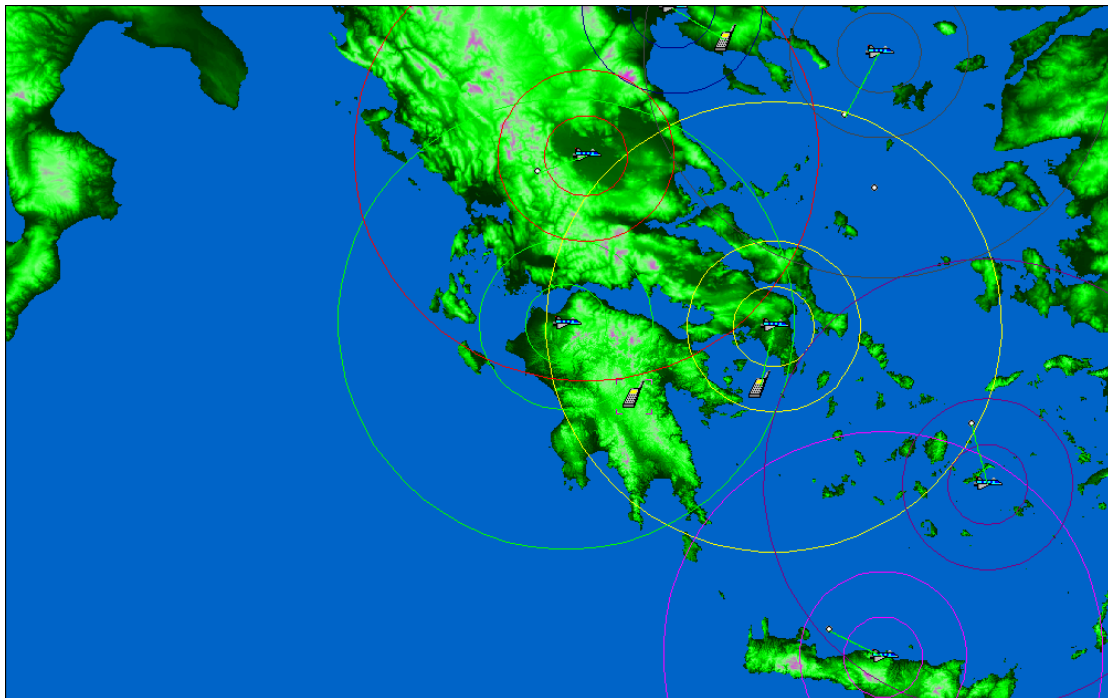
πλατφόρμα στα 21 km πάνω από Θεσσαλονίκη - SAC



Διάγραμμα 7.11 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

Παρατηρούμε πως στις δύο ζώνες της περιοχής κάλυψης που χρησιμοποιήσαμε, ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος που υπολογίσαμε είναι μεγαλύτερος του απαιτούμενου σηματοθορυβικού λόγου των 10.5 dB για μετάδοση τόσο δεδομένων όσο και audio και video. Συγκεκριμένα για ρυθμό μετάδοσης 384 kbps, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 36.45 dB, μέσο περιθώριο 25.95 dB ενώ 99.8% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 43.75 dB, μέσο περιθώριο 33.25 dB ενώ έχουμε 99.82% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Για ρυθμό μετάδοσης 2000 kbps, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 29.28 dB, μέσο περιθώριο 18.78 dB ενώ 99.8% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι 36.58 dB, το μέσο περιθώριο 26.08 dB ενώ 99.82% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από την Πάτρα έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



Σχήμα 7.13 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Πάτρα (21 km – UAC - 384 kbps)

Link Status [?] [X]

Statistics | Wanted signal | Worst I signal | Power Flux Density | Calculations | Route

Select criteria

C
 I
 N
 C/I
 C/N
 C/(N+I)
 DT/T
 PFD

Statistics on value when valid

Worst: 18.707984 dB when: t = 0 days 07:21:00
 Average: 36.810258 dB Standard deviation: 67.721434 dB

Statistics on events

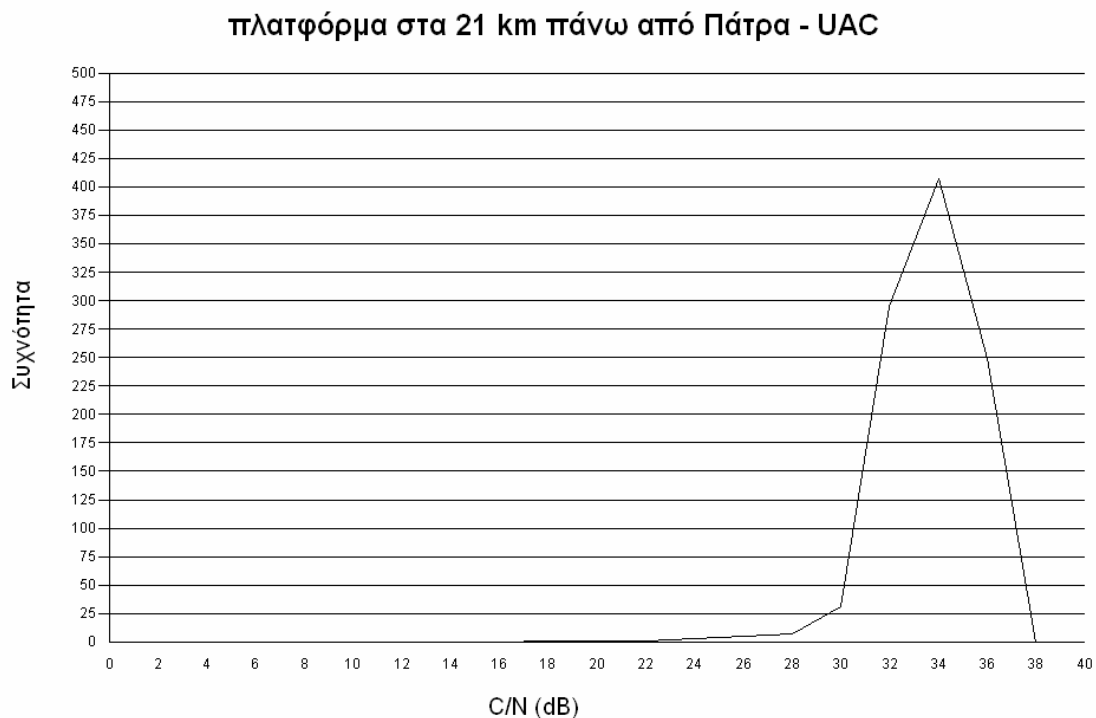
Number steps bad: 0 out of: 1001 = 0.0 %
 Number of events: 0 Steps valid: 1001
 Longest event: 0 steps when:
 Average event length: 0.0 steps

Full distribution

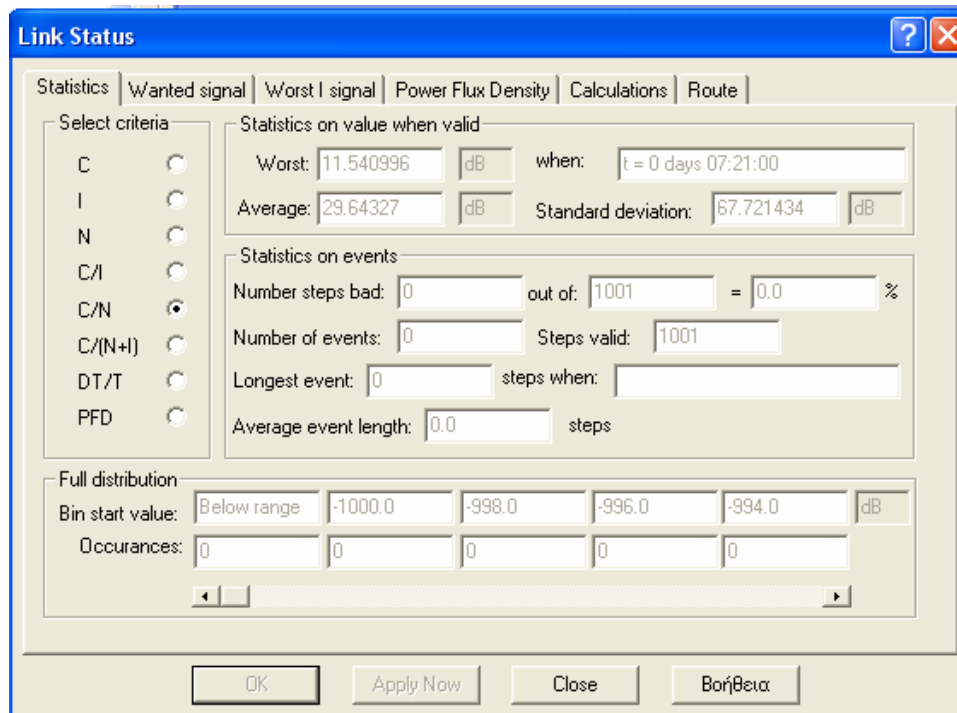
Bin start value: Below range -1000.0 -998.0 -996.0 -994.0 dB
 Occurrences: 0 0 0 0 0

OK Apply Now Close Βοήθεια

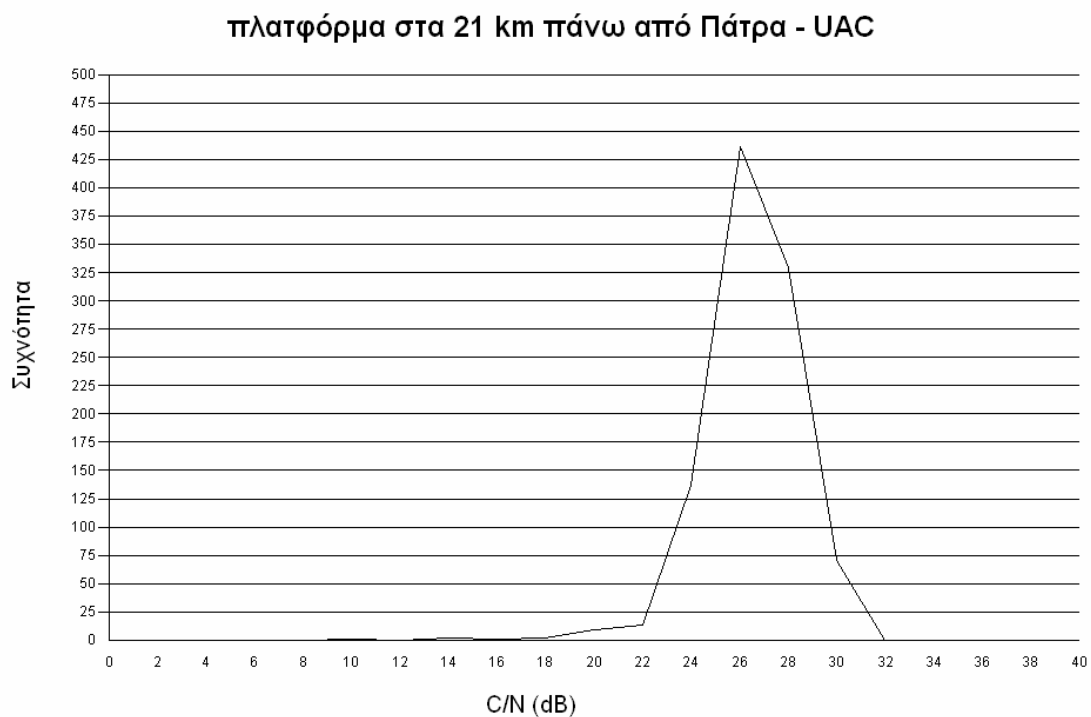
Σχήμα 7.14 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Πάτρα (21 km – UAC - 384 kbps)



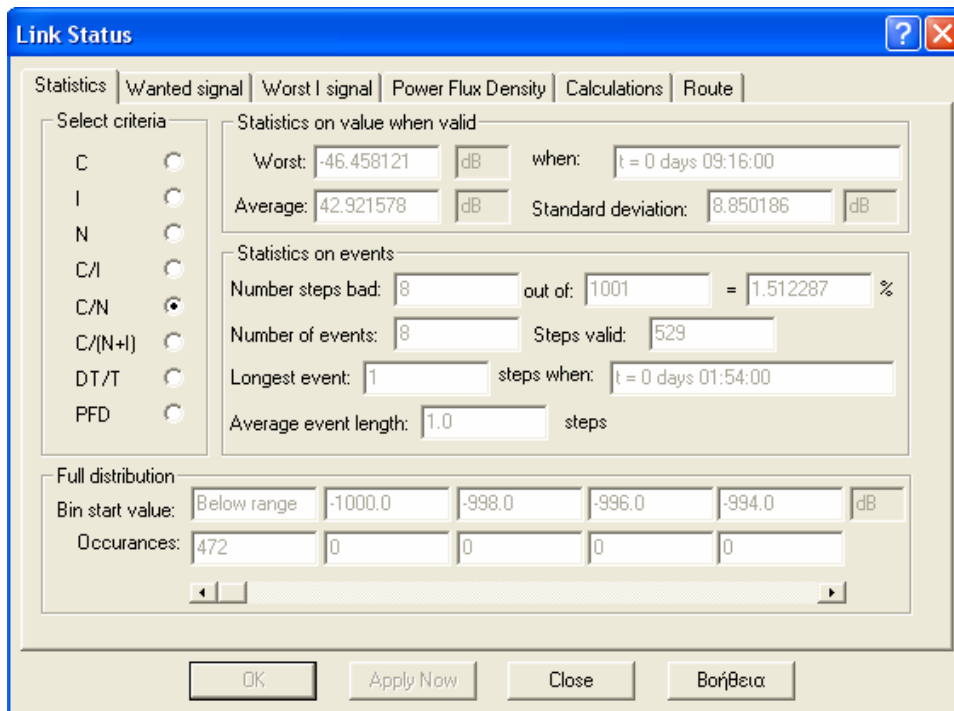
Διάγραμμα 7.12 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.15 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Πάτρα (21 km – UAC -2000 kbps)

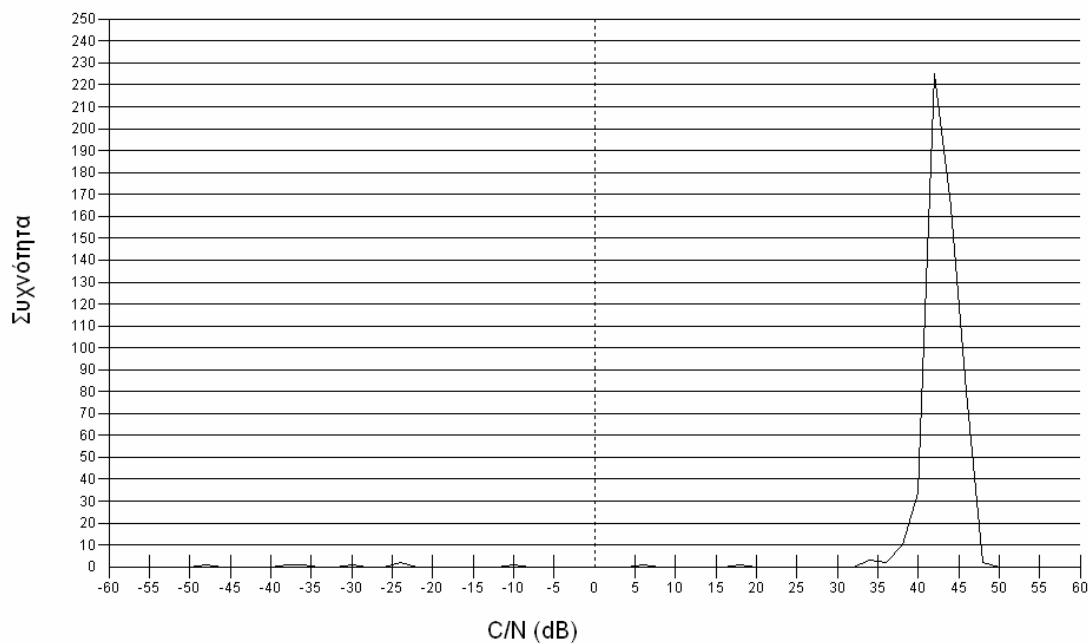


Διάγραμμα 7.13 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

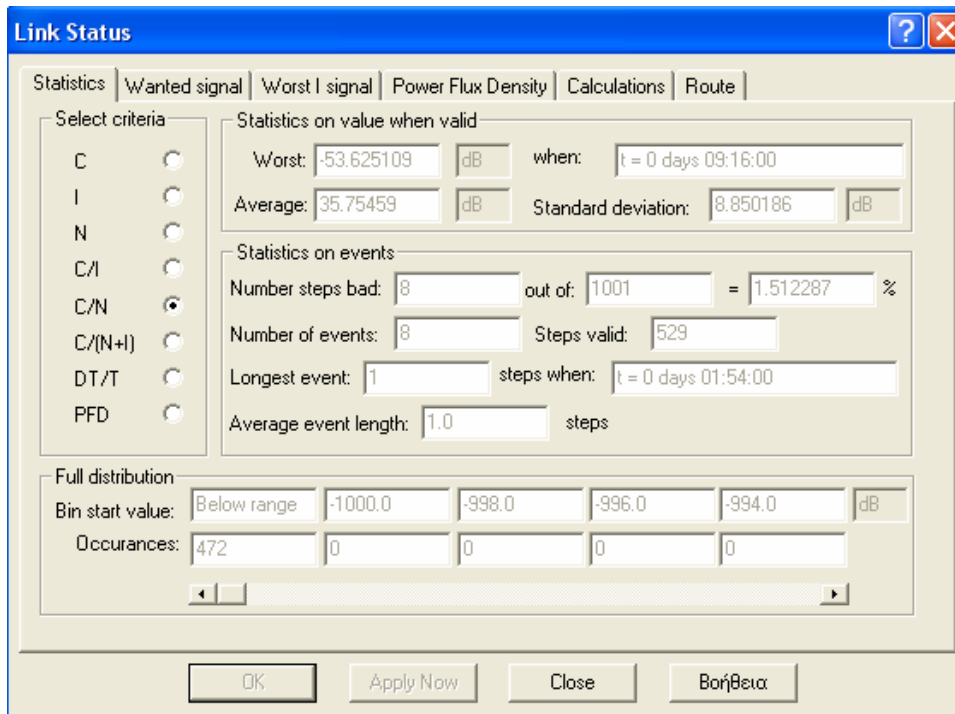


Σχήμα 7.16 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Πάτρα την Πάτρα την Πάτρα (21 km – SAC - 384 kbps)

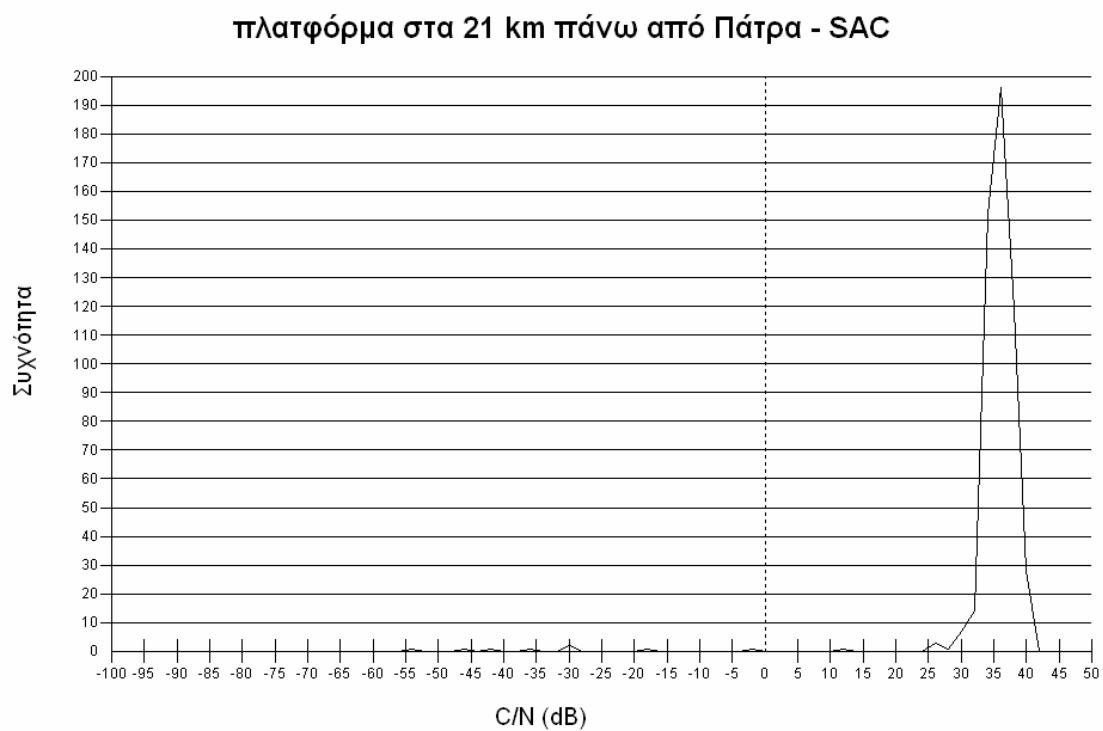
πλατφόρμα στα 21 km πάνω από Πάτρα - SAC



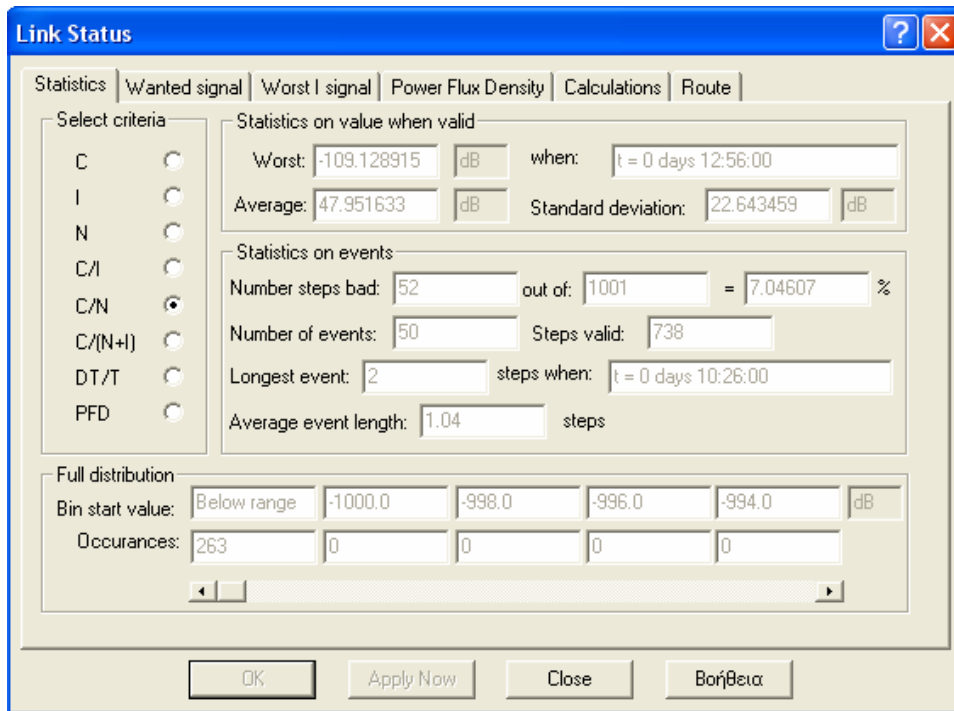
Διάγραμμα 7.14 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.17 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Πάτρα (21 km – SAC - 2000 kbps)

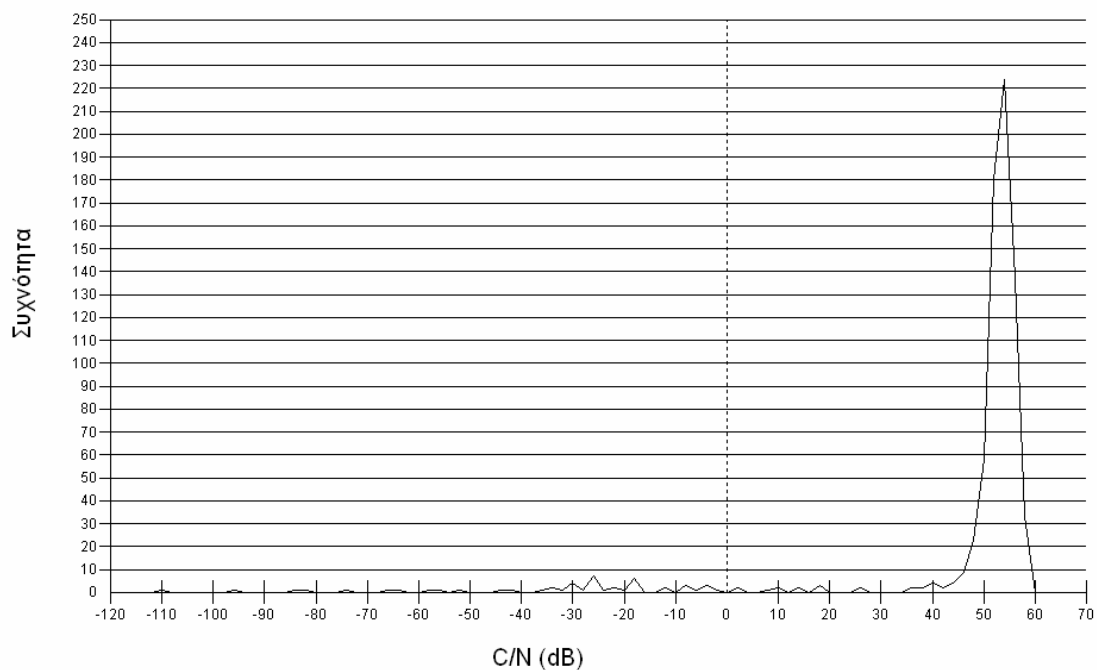


Διάγραμμα 7.15 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

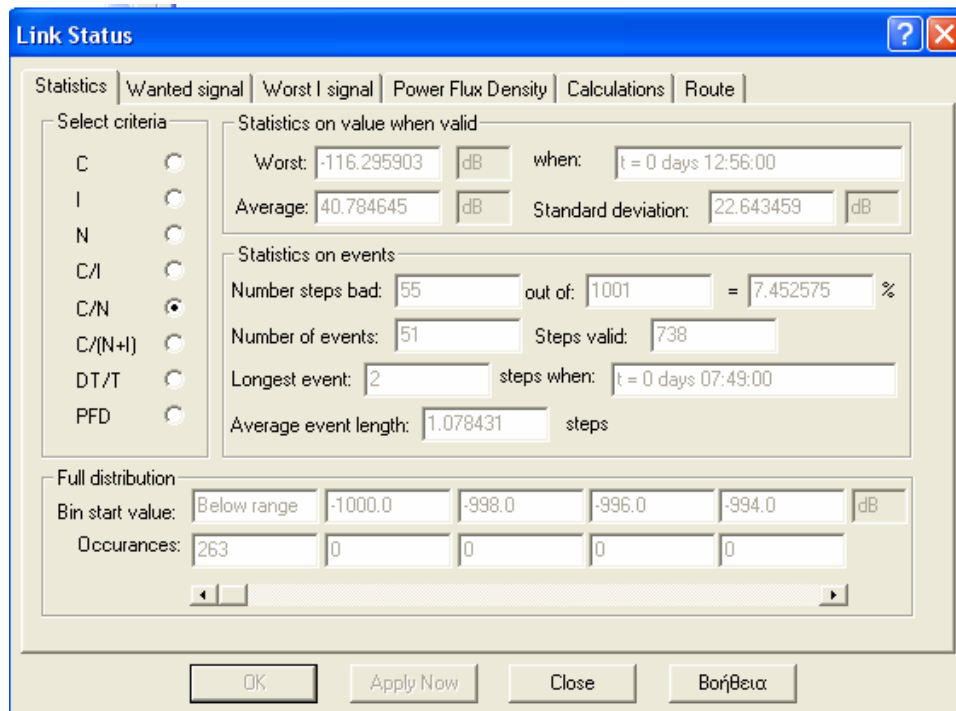


Σχήμα 7.18 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Πάτρα (21 km – RAC - 384 kbps)

πλατφόρμα στα 21 km πάνω από Πάτρα - RAC

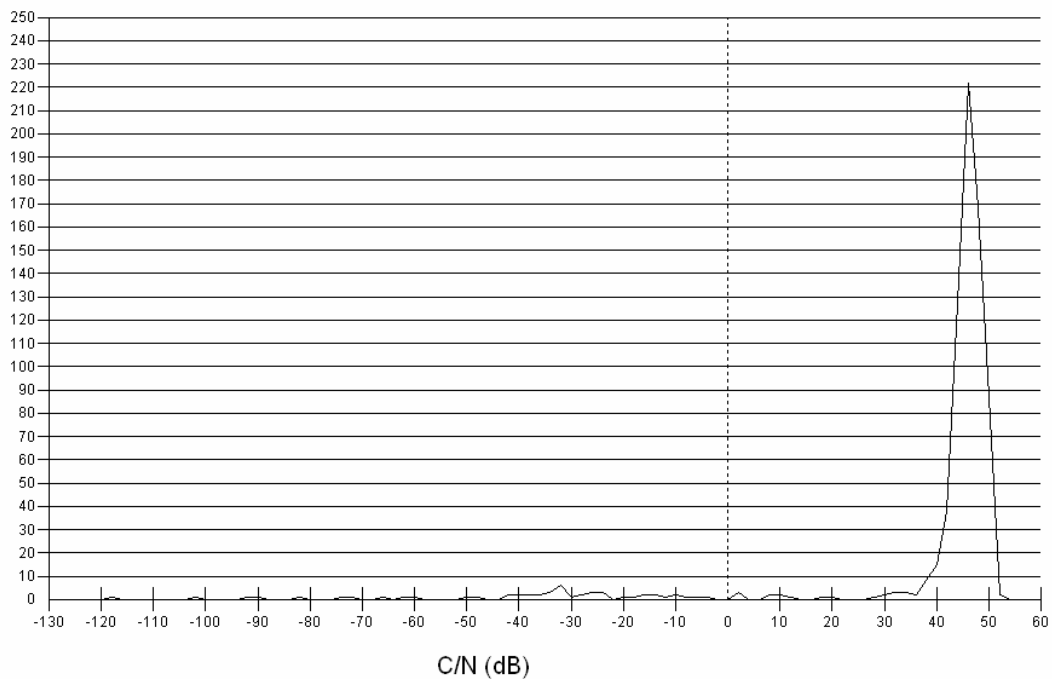


Διάγραμμα 7.16 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.19 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Πάτρα (21 km – RAC - 2000 kbps)

πλατφόρμα στα 21 km πάνω από Πάτρα - RAC



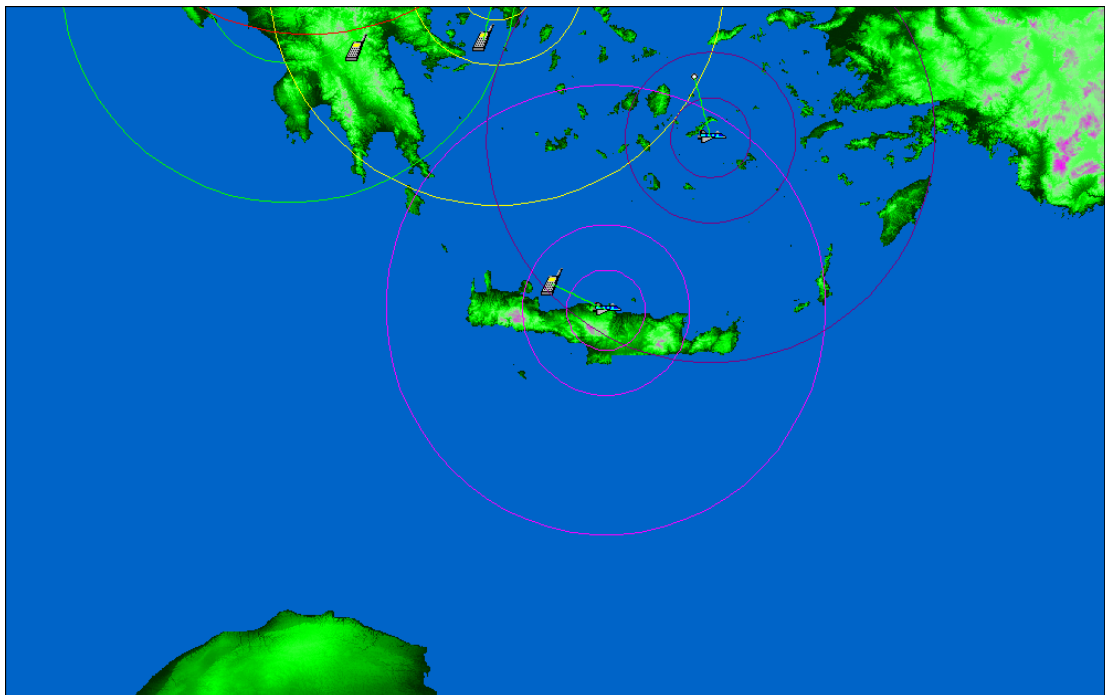
Διάγραμμα 7.17 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

Παρατηρούμε πως και στις τρεις ζώνες της περιοχής κάλυψης ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος που υπολογίσαμε είναι μεγαλύτερος του απαιτούμενου σηματοθορυβικού λόγου των 10.5 dB για μετάδοση τόσο δεδομένων όσο και audio και video.

Συγκεκριμένα για ρυθμό μετάδοσης 384 kbps, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 36.81 dB, μέσο περιθώριο 26.31 dB ενώ 100% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι 42.92 dB, το μέσο περιθώριο 32.42 dB ενώ 98.49% των μετρήσεων είναι πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 47.95 dB, μέσο περιθώριο 37.45 dB ενώ 92.95% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

Για ρυθμό μετάδοσης 2000 kbps, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 29.64 dB, μέσο περιθώριο 19.14 dB ενώ έχουμε 100% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 35.75 dB, μέσο περιθώριο 25.25 dB ενώ 98.49% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 40.78 dB, μέσο περιθώριο 30.28 dB ενώ έχουμε 92.55% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από το Ηράκλειο έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



Σχήμα 7.20 Πλατφόρμα στα 21 km πάνω από το Ηράκλειο

Link Status [?] [X]

Statistics | Wanted signal | Worst I signal | Power Flux Density | Calculations | Route

Select criteria:

- C
- I
- N
- C/I
- C/N
- C/(N+I)
- DT/T
- PFD

Statistics on value when valid:

Worst: 12.706907 dB when: t = 0 days 06:50:00

Average: 36.845246 dB Standard deviation: 67.818713 dB

Statistics on events:

Number steps bad: 0 out of: 1001 = 0.0 %

Number of events: 0 Steps valid: 1001

Longest event: 0 steps when:

Average event length: 0.0 steps

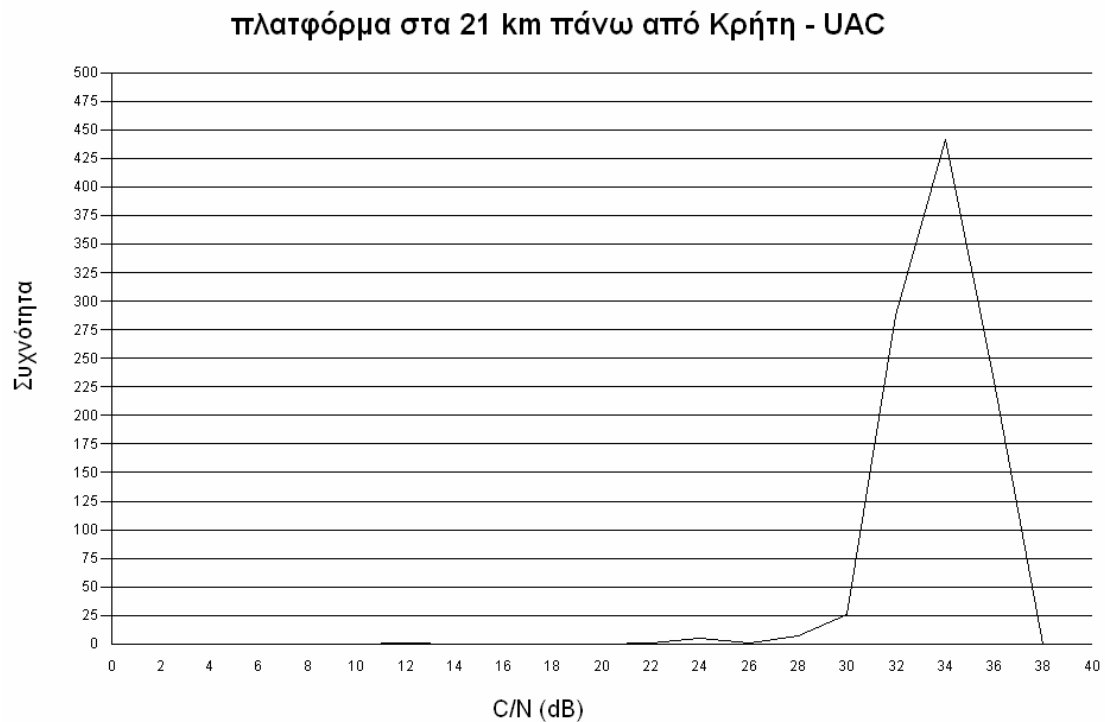
Full distribution:

Bin start value: Below range -1000.0 -998.0 -996.0 -994.0 dB

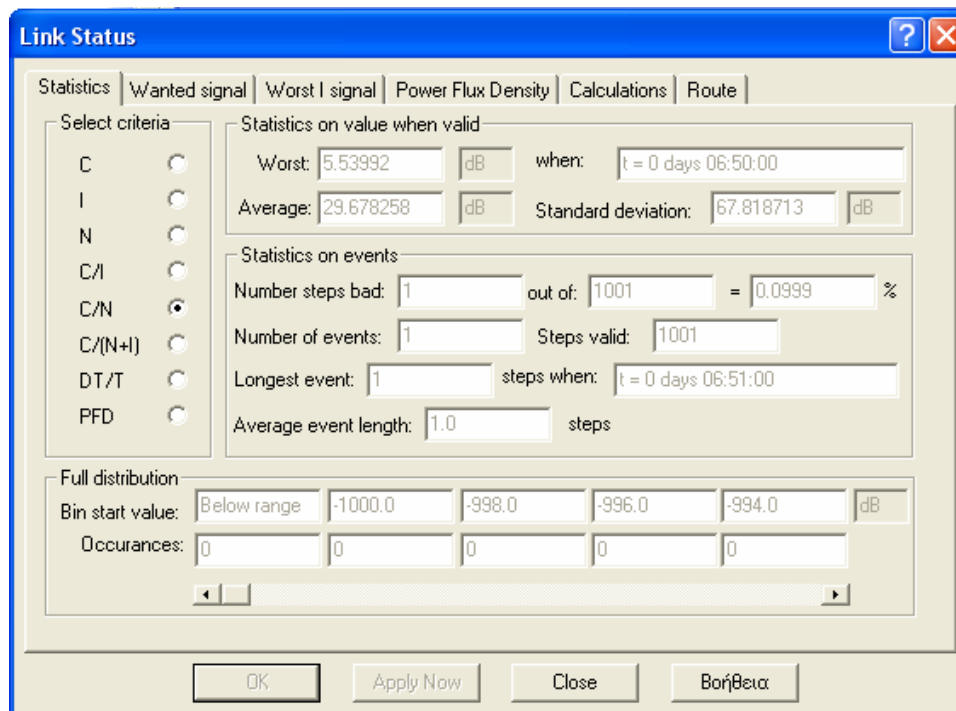
Occurrences: 0 0 0 0 0

OK Apply Now Close Βοήθεια

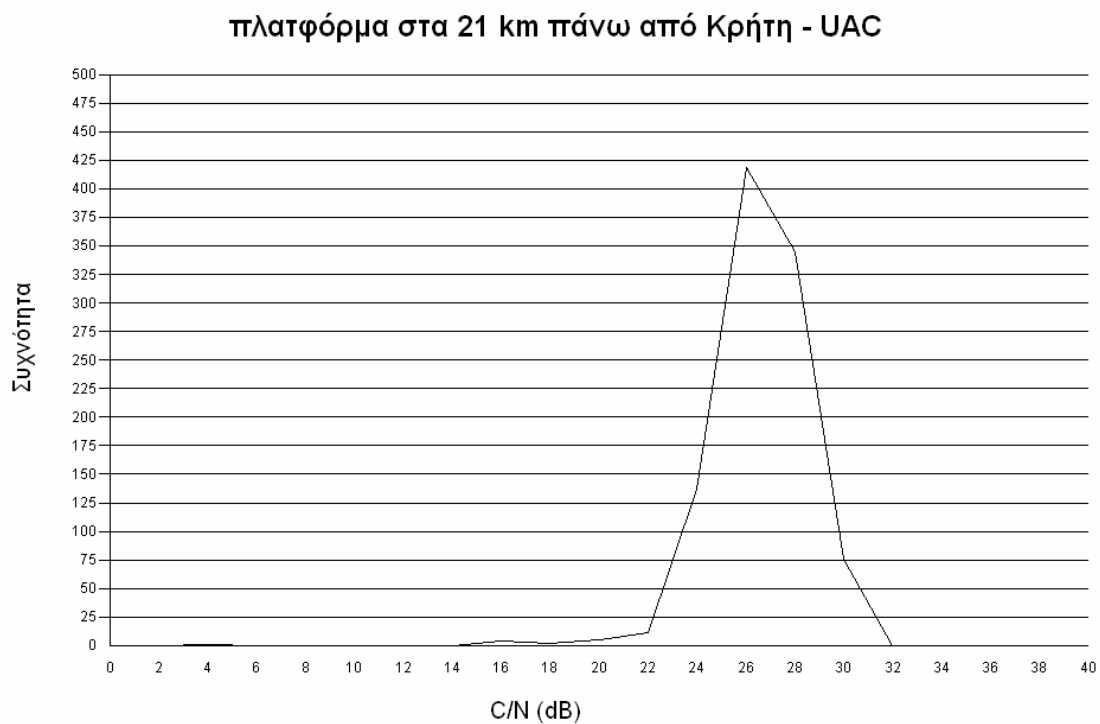
Σχήμα 7.21 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Ηράκλειο (21 km – UAC - 384 kbps)



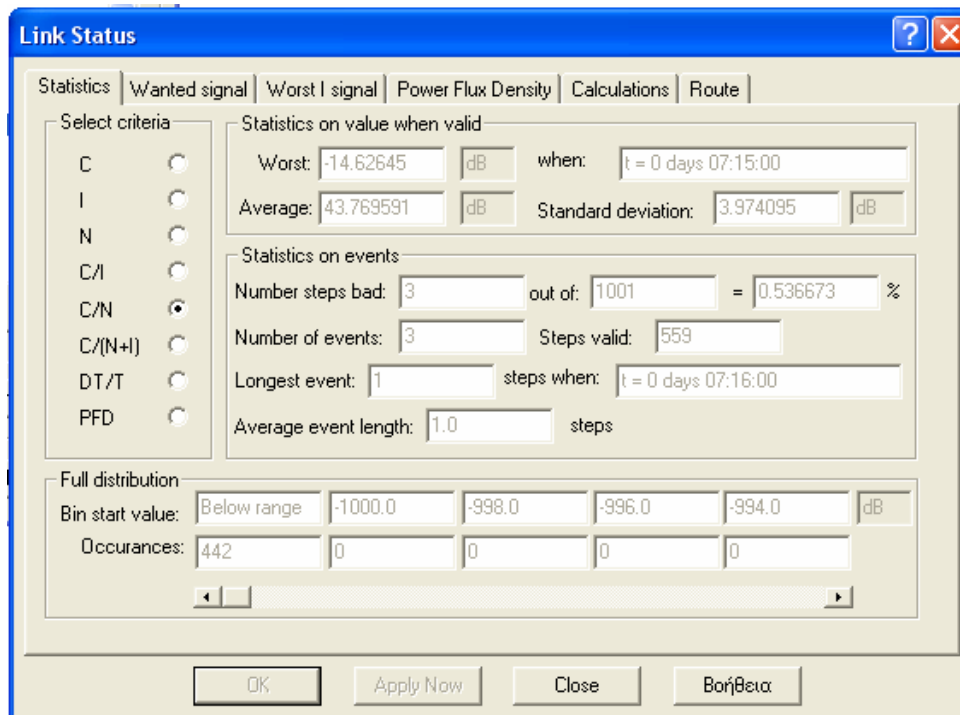
Διάγραμμα 7.18 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.22 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Ηράκλειο (21 km – UAC -2000 kbps)

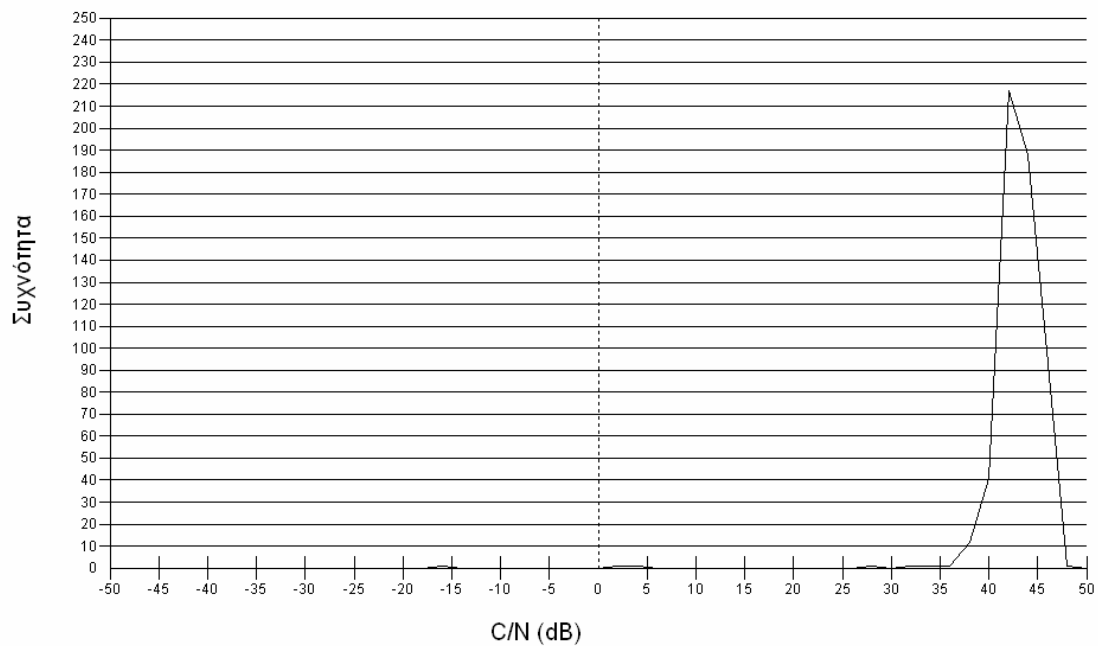


Διάγραμμα 7.19 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθρομβικού λόγου

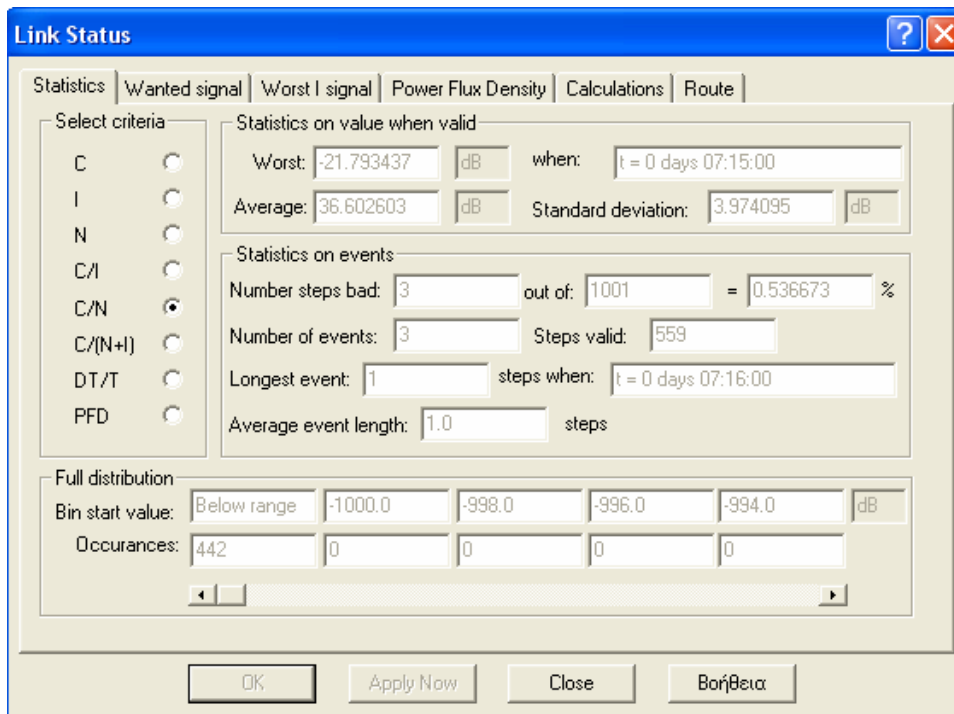


Σχήμα 7.23 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Ηράκλειο (21 km – SAC - 384 kbps)

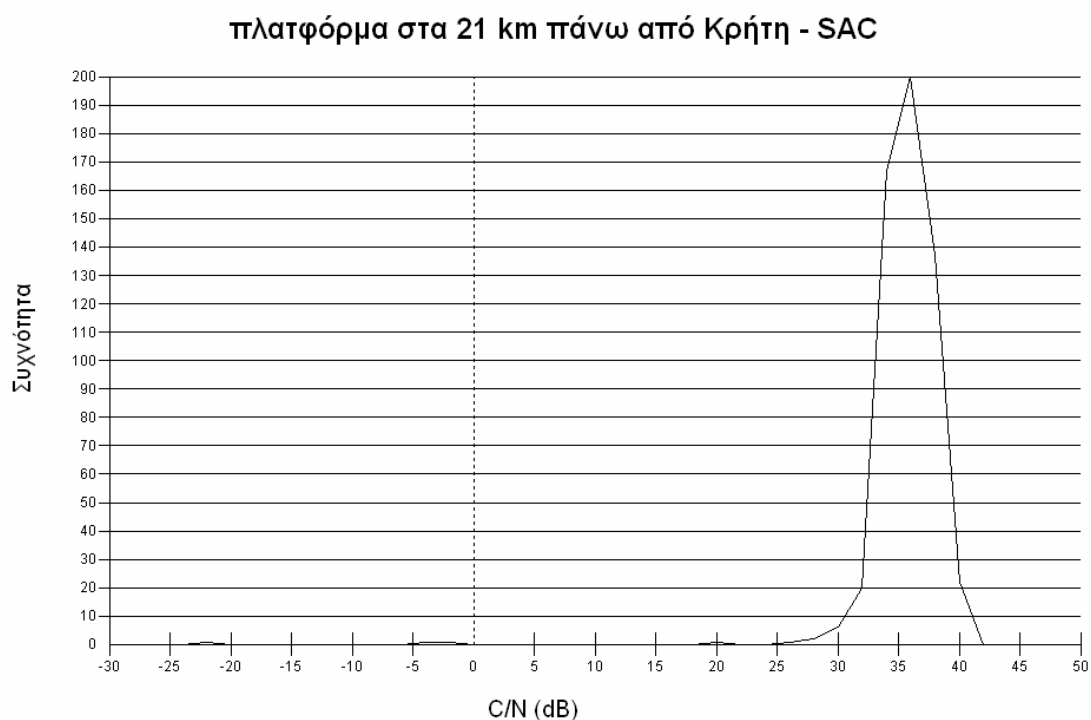
πλατφόρμα στα 21 km πάνω από Κρήτη - SAC



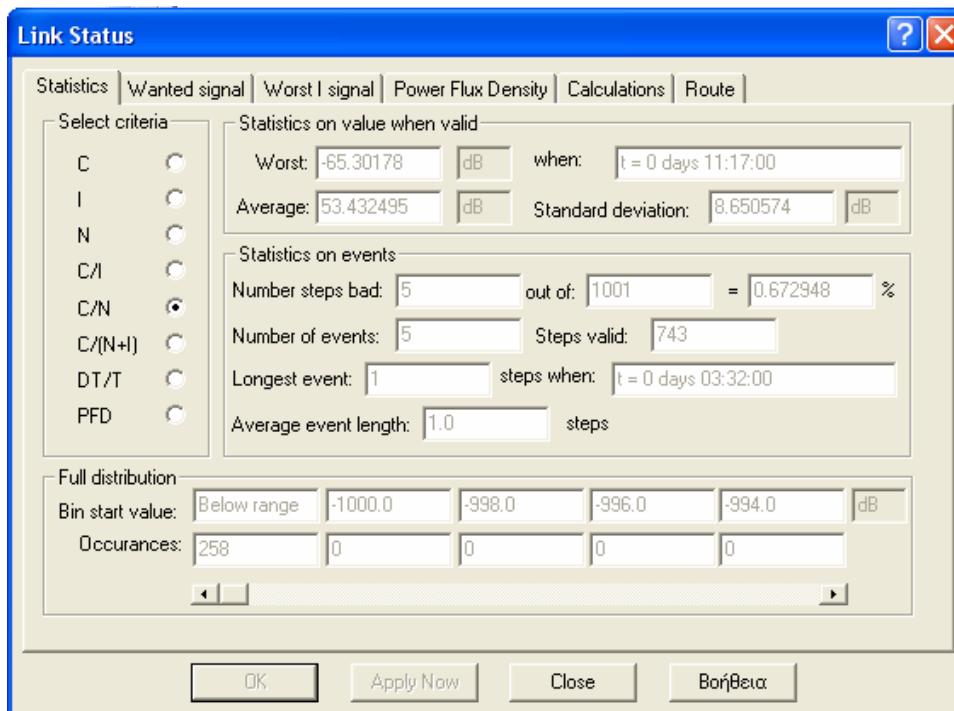
Διάγραμμα 7.20 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



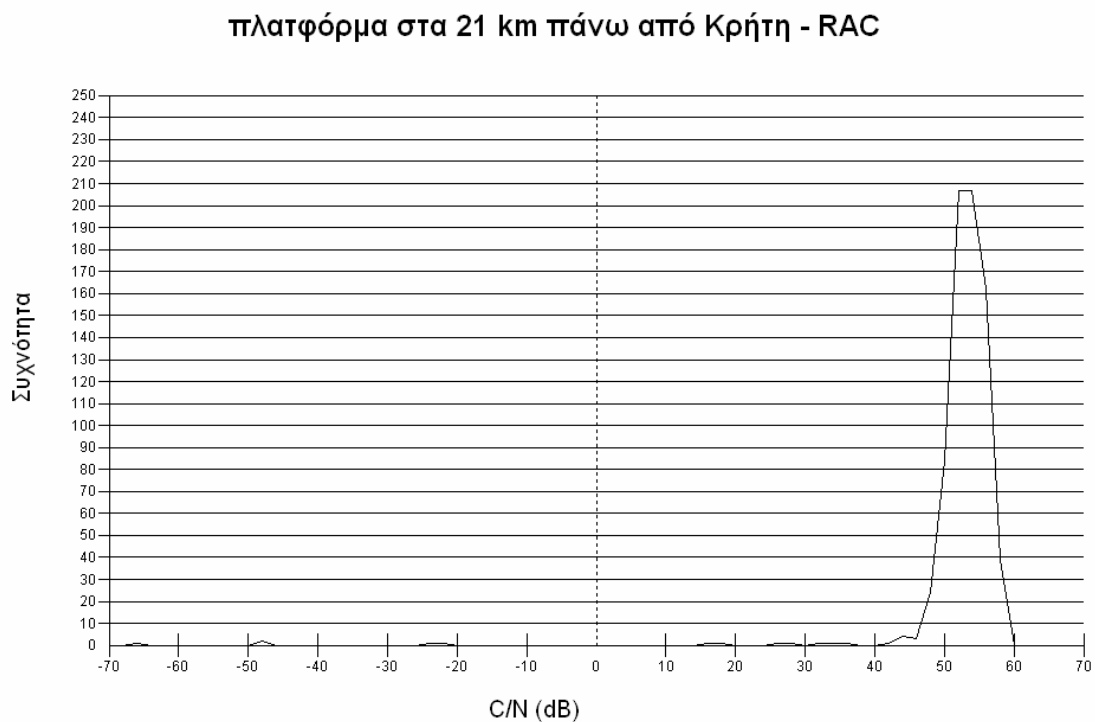
Σχήμα 7.24 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Ηράκλειο (21 km – SAC - 2000 kbps)



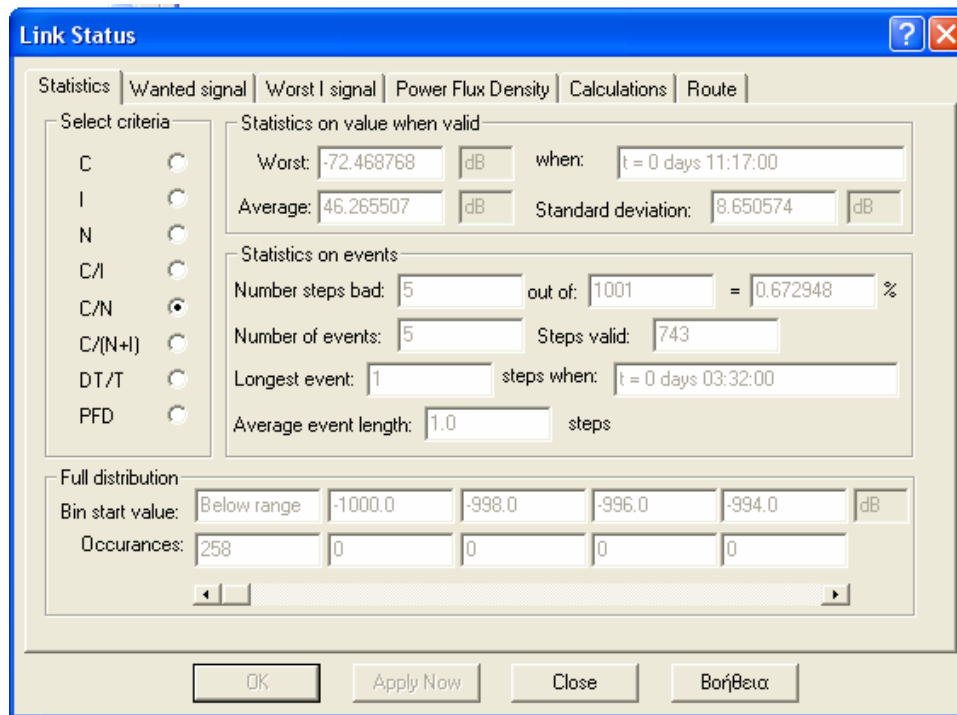
Διάγραμμα 7.21 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



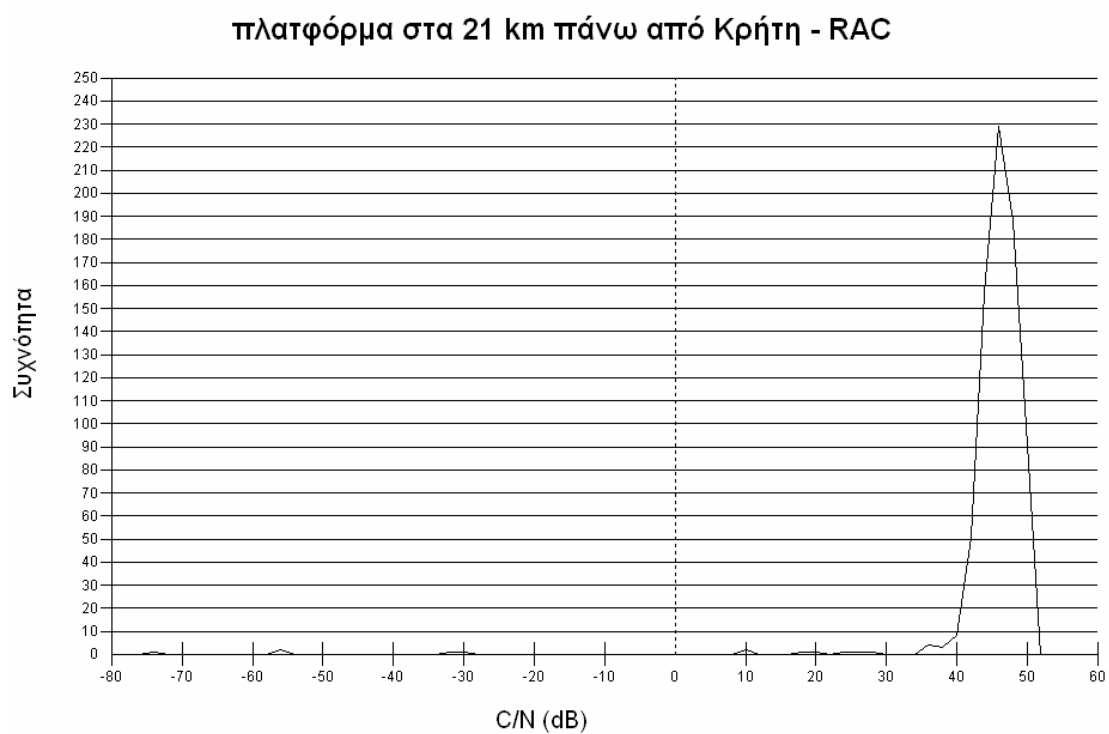
Σχήμα 7.25 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Ηράκλειο (21 km – RAC - 384 kbps)



Διάγραμμα 7.22 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.26 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Ηράκλειο (21 km – RAC - 2000 kbps)



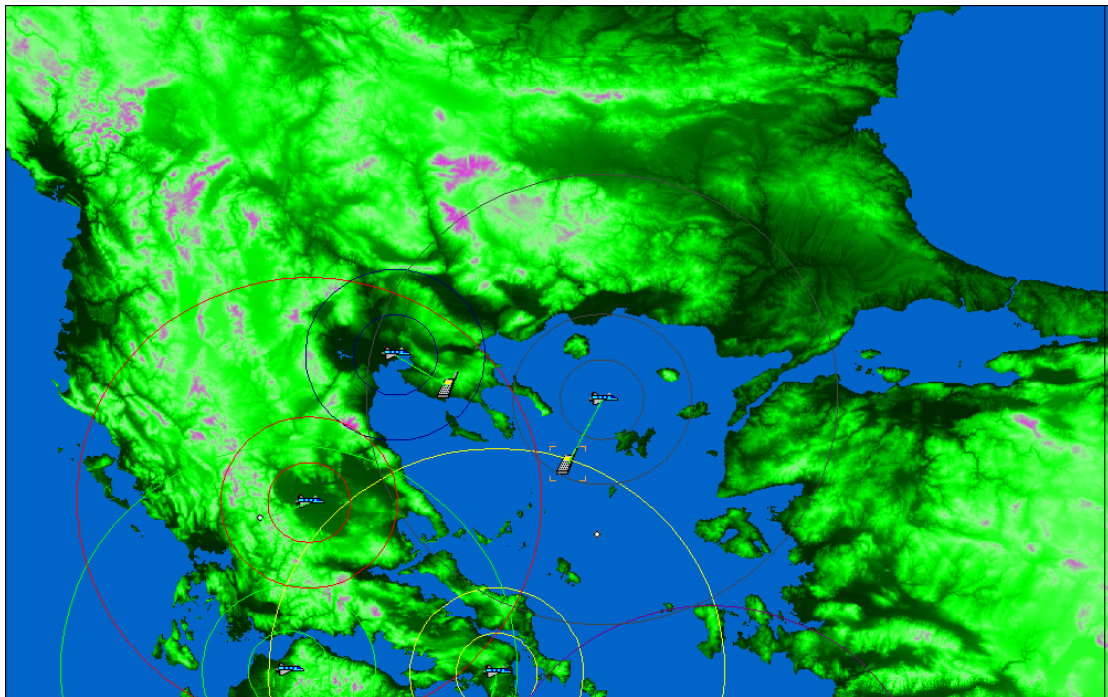
Διάγραμμα 7.23 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

Παρατηρούμε πως και στις τρεις ζώνες της περιοχής κάλυψης ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος που υπολογίσαμε είναι μεγαλύτερος του απαιτούμενου σηματοθορυβικού λόγου των 10.5 dB για μετάδοση τόσο δεδομένων όσο και audio και video.

Συγκεκριμένα για ρυθμό μετάδοσης 384 kbps,στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 36.85 dB, μέσο περιθώριο 26.35 dB ενώ έχουμε 100% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 43.77 dB, μέσο περιθώριο 33.27 dB ενώ έχουμε 99.46% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 53.43 dB, μέσο περιθώριο 42.93 dB ενώ έχουμε 99.32% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

Για ρυθμό μετάδοσης 2000 kbps, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 29.68 dB, μέσο περιθώριο 19.18 dB ενώ έχουμε 99.9% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 36.6 dB, μέσο περιθώριο 26.1 dB ενώ 99.46% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 46.27 dB, μέσο περιθώριο 35.77 dB ενώ έχουμε 99.33% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από την ανατολική Μακεδονία έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



Σχήμα 7.27 Πλατφόρμα στα 21 km πάνω από την Ανατολική Μακεδονία

Link Status [?] [X]

Statistics | Wanted signal | Worst I signal | Power Flux Density | Calculations | Route

Select criteria:

- C
- I
- N
- C/I
- C/N
- C/(N+I)
- DT/T
- PFD

Statistics on value when valid:

Worst: 32.152504 dB when: t = 0 days 04:00:00

Average: 1961.758488 dB Standard deviation: 87.950962 dB

Statistics on events:

Number steps bad: 0 out of: 1001 = 0.0 %

Number of events: 0 Steps valid: 1001

Longest event: 0 steps when:

Average event length: 0.0 steps

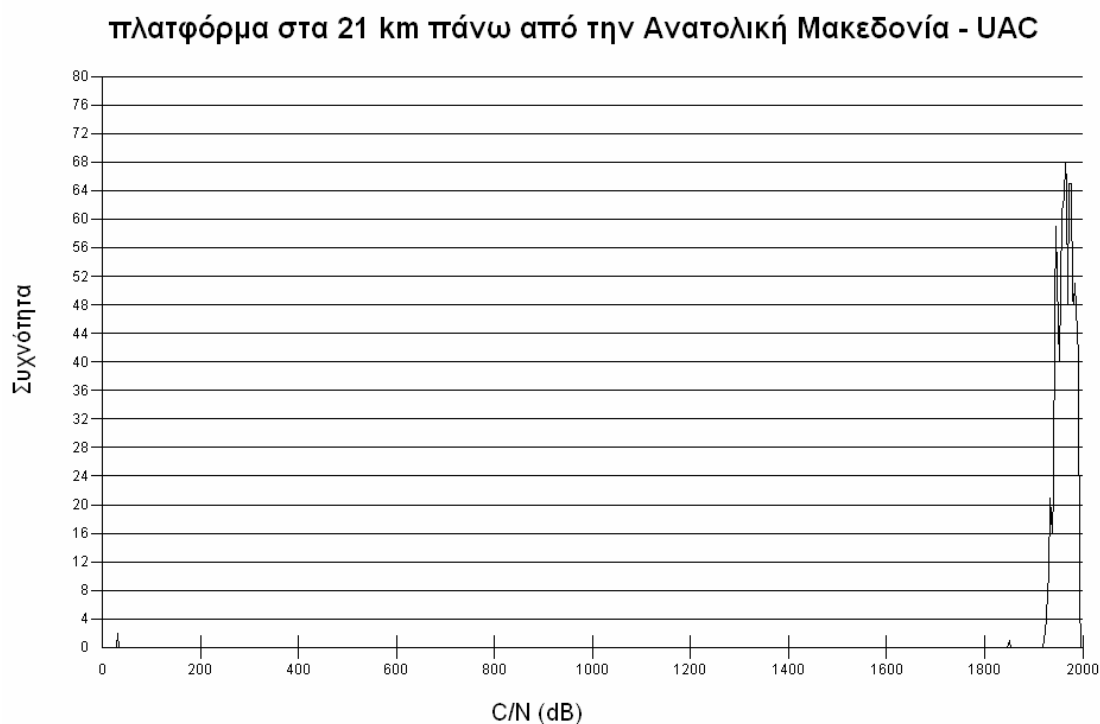
Full distribution:

Bin start value: Below range -1000.0 -998.0 -996.0 -994.0 dB

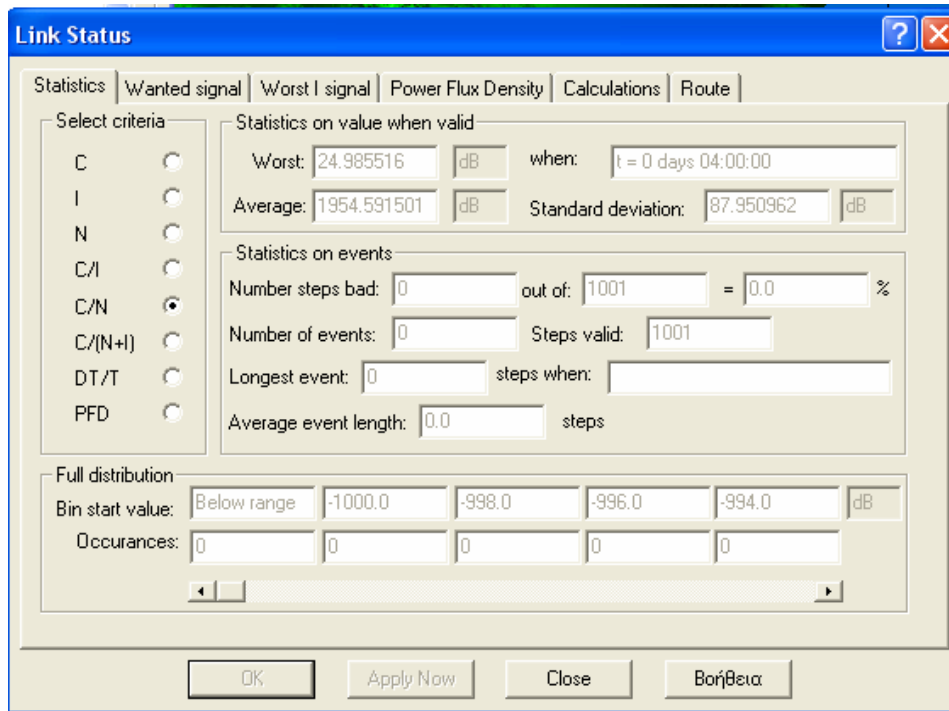
Occurrences: 0 0 0 0 0

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 7.28 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Ανατολική Μακεδονία (21 km – UAC - 384 kbps)



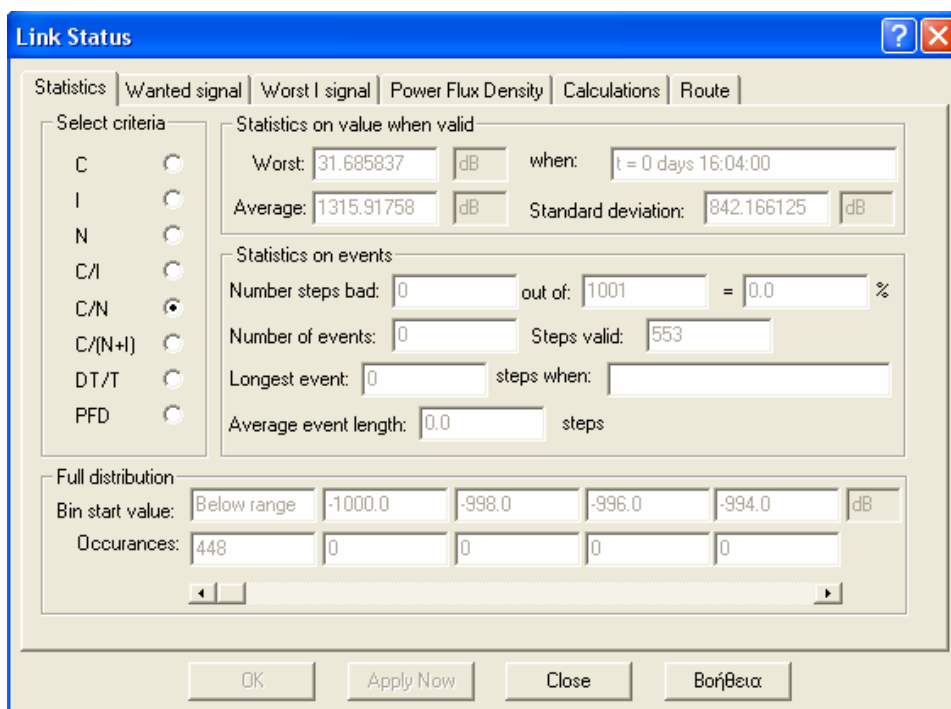
Διάγραμμα 7.24 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.29 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Ανατολική Μακεδονία (21 km – UAC -2000 kbps)



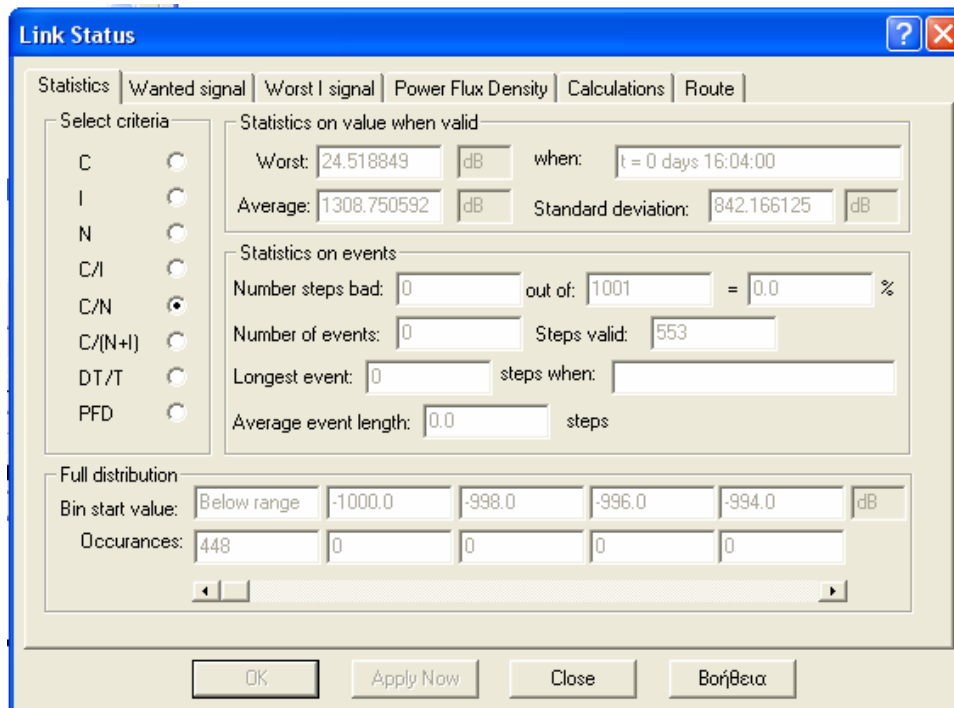
Διάγραμμα 7.25 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



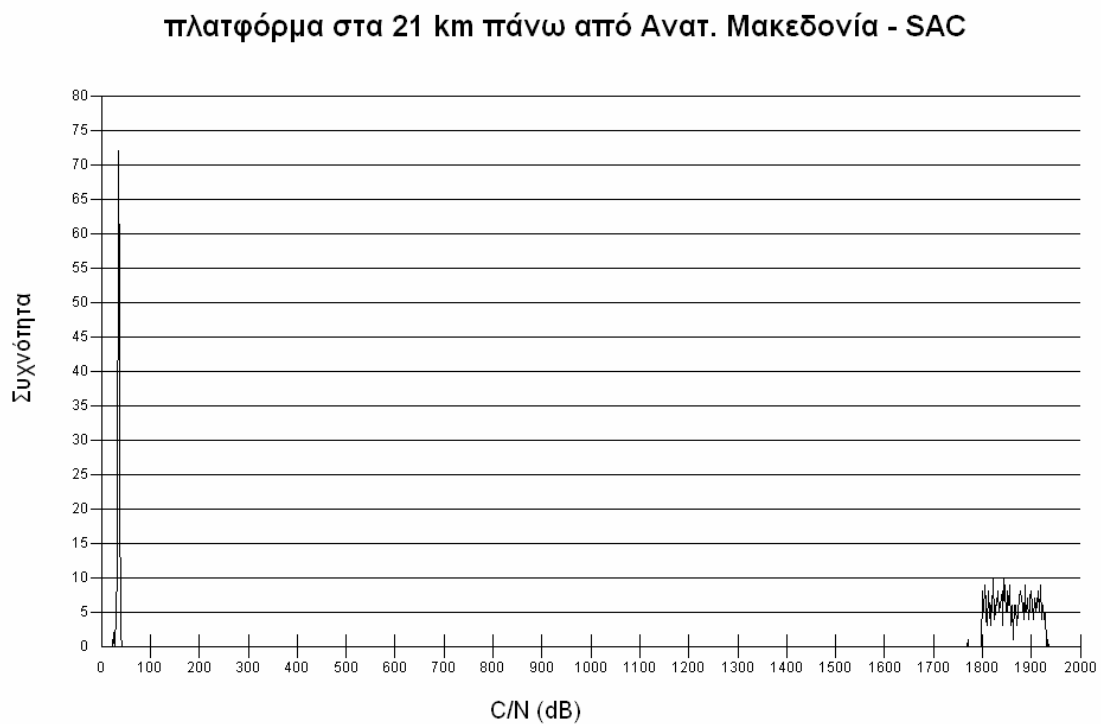
Σχήμα 7.30 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Ανατολική Μακεδονία (21 km – SAC - 384 kbps)



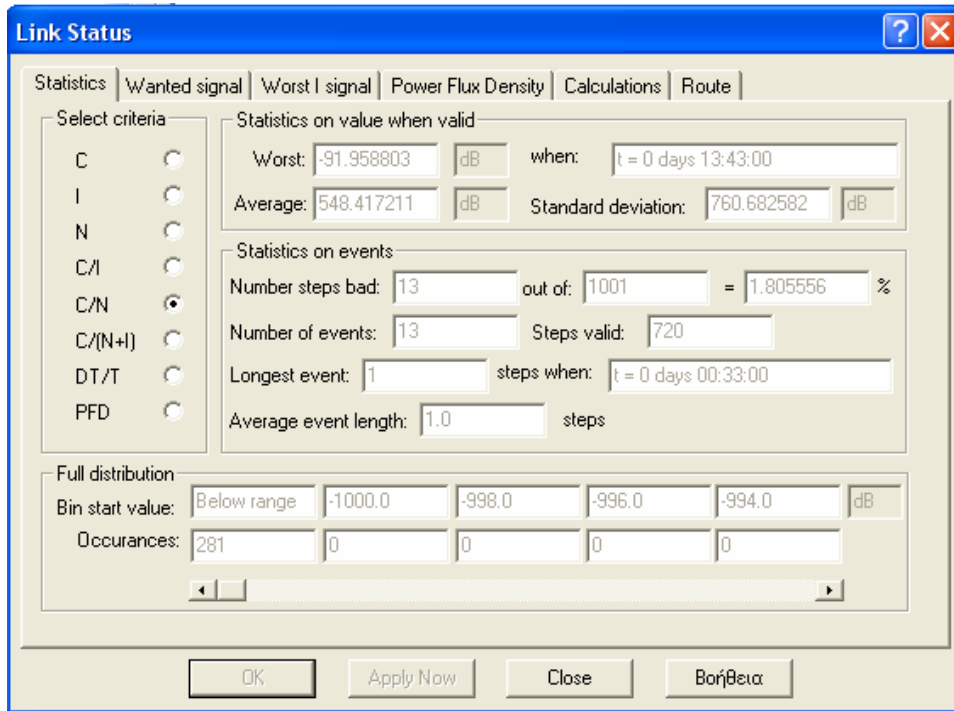
Διάγραμμα 7.26 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.31 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Ανατολική Μακεδονία (21 km – SAC - 2000 kbps)

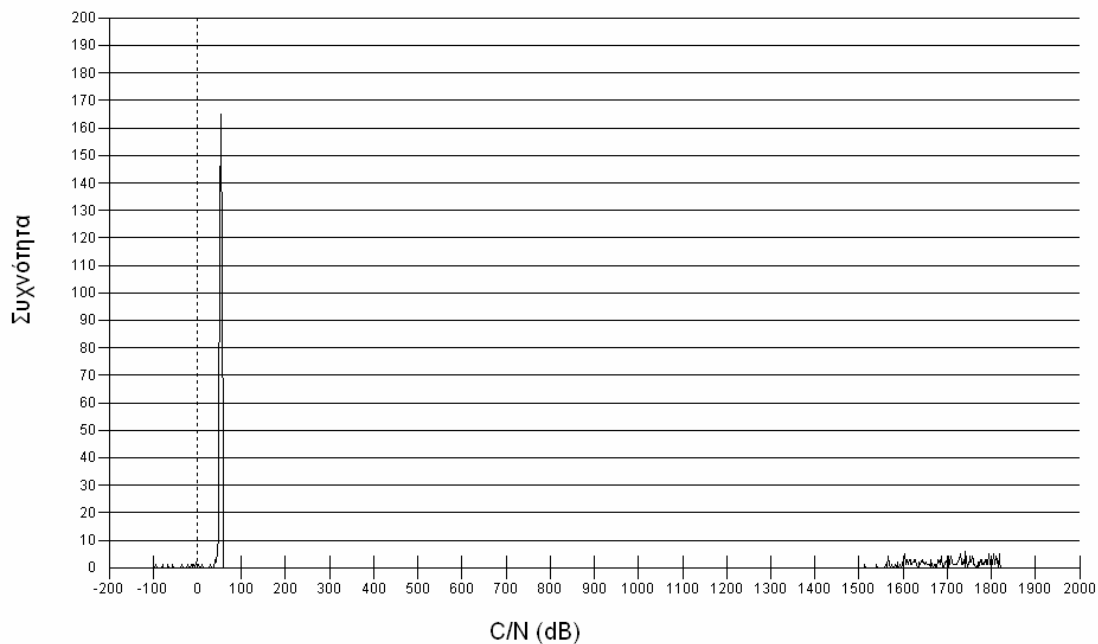


Διάγραμμα 7.27 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

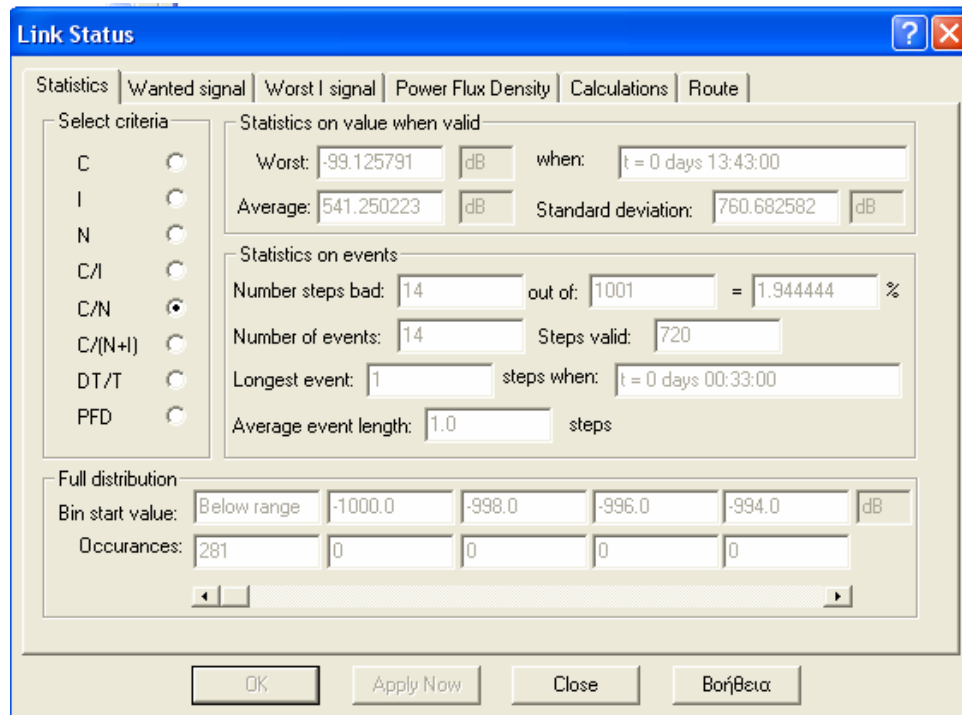


Σχήμα 7.32 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Ανατολική Μακεδονία (21 km – RAC - 384 kbps)

πλατφόρμα στα 21 km πάνω από Ανατ. Μακεδονία - RAC

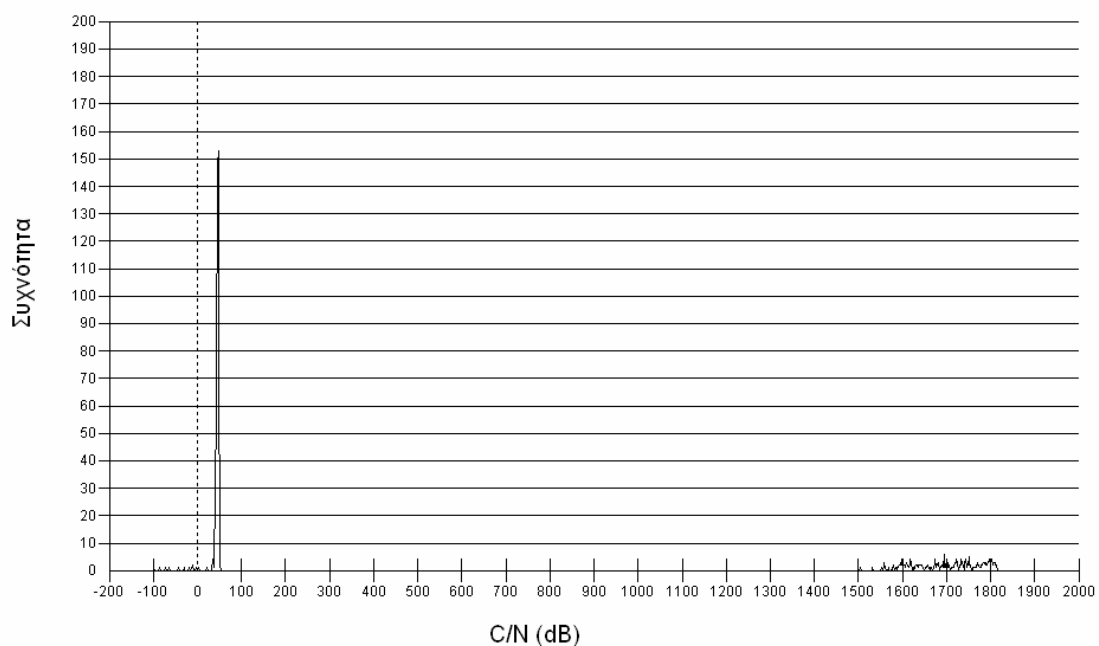


Διάγραμμα 7.28 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.33 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Ανατολική Μακεδονία (21 km – RAC - 2000 kbps)

πλατφόρμα στα 21 km πάνω από Ανατ. Μακεδονία - RAC



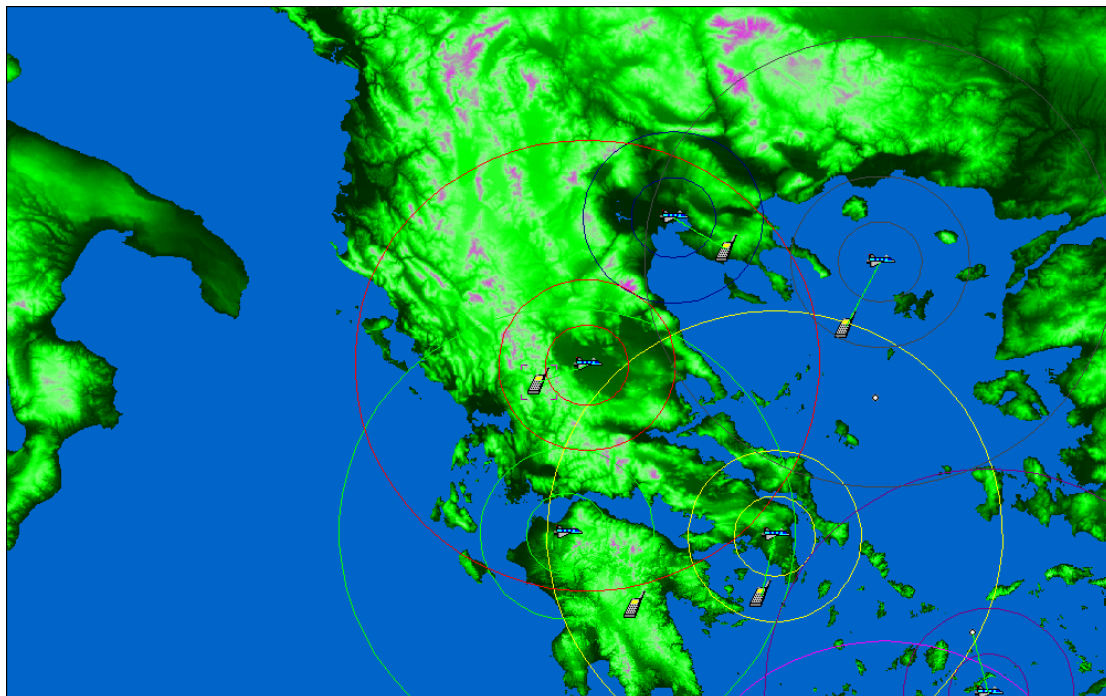
Διάγραμμα 7.29 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

Παρατηρούμε πως σε όλες τις ζώνες κάλυψης ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι ιδιαίτερα μεγάλος, δημιουργώντας ένα πολύ ικανοποιητικό μέσο περιθώριο και καθιστώντας ιδιαίτερα επιτυχημένη επίδοση των ζεύξεων. Κρίνοντας όμως μόνο από το μέσο σηματοθορυβικό λόγο, εξάγουμε υπεραισιόδοξα συμπεράσματα για τη λειτουργία του συστήματος αφού η ύπαρξη κάποιων πολύ υψηλών μετρήσεων, εκτοξεύει σε πολύ υψηλά επίπεδα και το μέσο σηματοθορυβικό λόγο ενώ η πλειονότητα των μετρήσεων κυμαίνεται σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα όπως απεικονίζεται και στα παραπάνω διαγράμματα. Παρατηρούμε πως όταν ένα μεγάλο μέρος της περιοχής κάλυψης μιας πλατφόρμας αποτελείται από θαλάσσιο χώρο, προκύπτει τιμές του σηματοθορυβικού λόγου ιδιαίτερα μεγάλες. Αυτό οφείλεται στην ανάκλαση του εκπεμπόμενου σήματος στην επιφάνεια της θάλασσας και στην προσθήκη των ανακλώμενων σημάτων σε αυτό που λαμβάνει ο δέκτης.

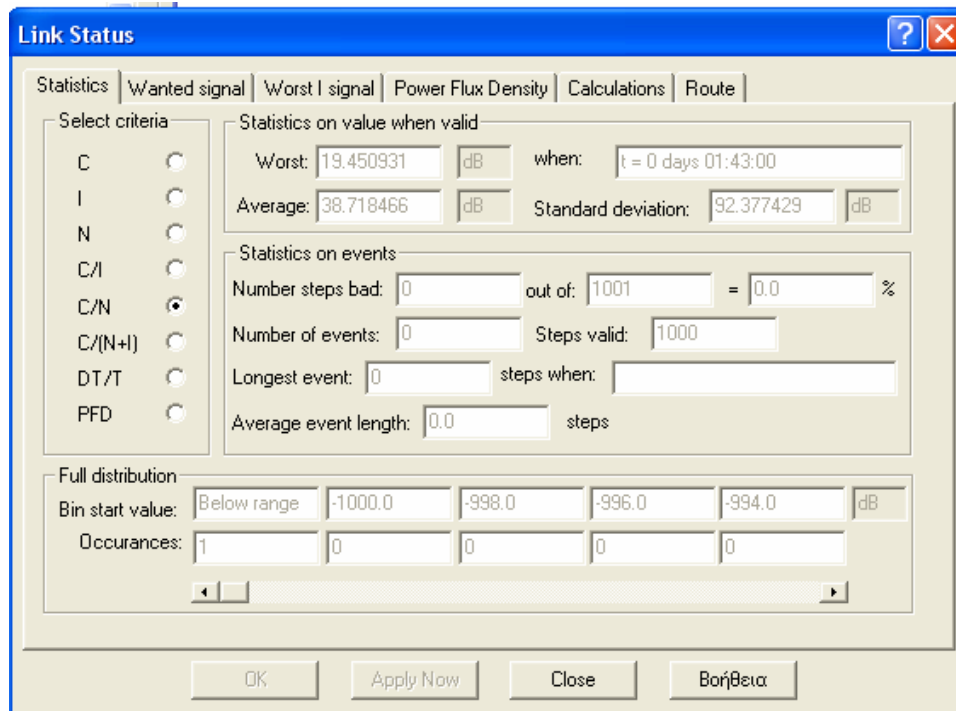
Οι επιδόσεις των ζεύξεων όμως στην Ανατολική Μακεδονία εξακολουθούν να κρίνονται ιδιαίτερα ικανοποιητικές, όπως φαίνεται και από τα ποσοστά των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB που παραθέσαμε. Συγκεκριμένα για ρυθμό μετάδοσης 384 kbps, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 1961.76 dB, μέσο περιθώριο 1951.26 dB ενώ έχουμε 100% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 1315.9 dB, μέσο περιθώριο 1305.4 dB ενώ έχουμε 100% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 548.42 dB, μέσο περιθώριο 537.92 dB ενώ έχουμε 98.2% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

Για ρυθμό μετάδοσης 2000 kbps, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 1954.6 dB, μέσο περιθώριο 1944.1 dB ενώ έχουμε 100% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 1308.75 dB, μέσο περιθώριο 1298.25 dB ενώ έχουμε 100% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 541.25 dB, μέσο περιθώριο 530.75 dB ενώ έχουμε 98.06% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

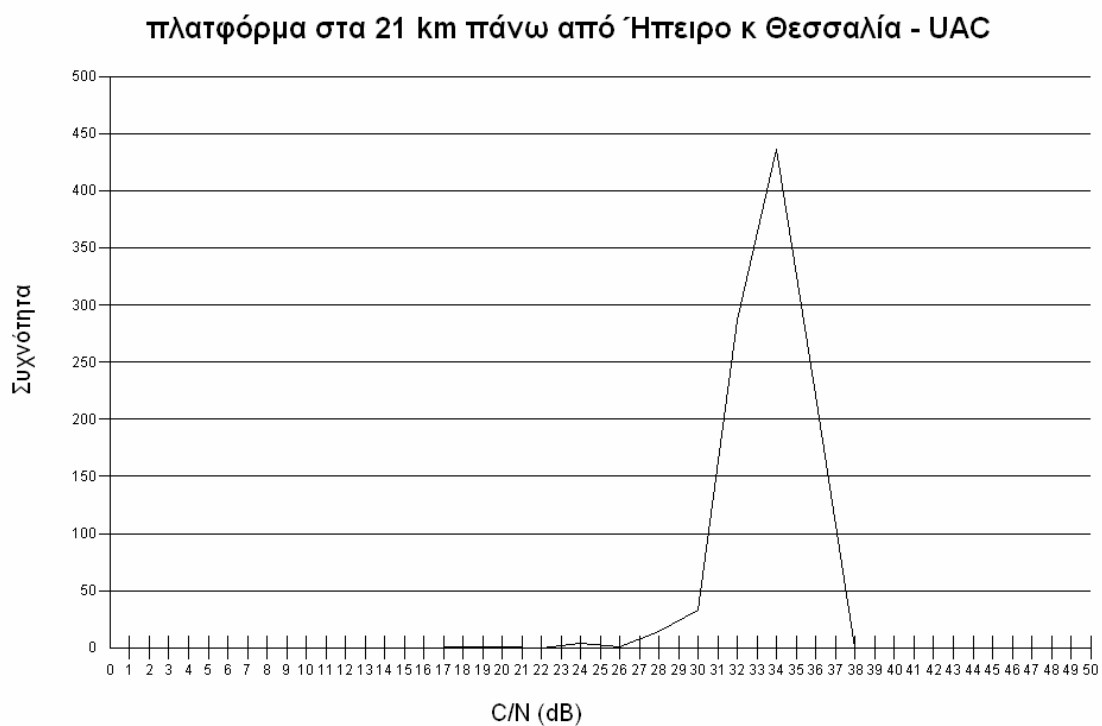
- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από τη Θεσσαλία και την Ήπειρο έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



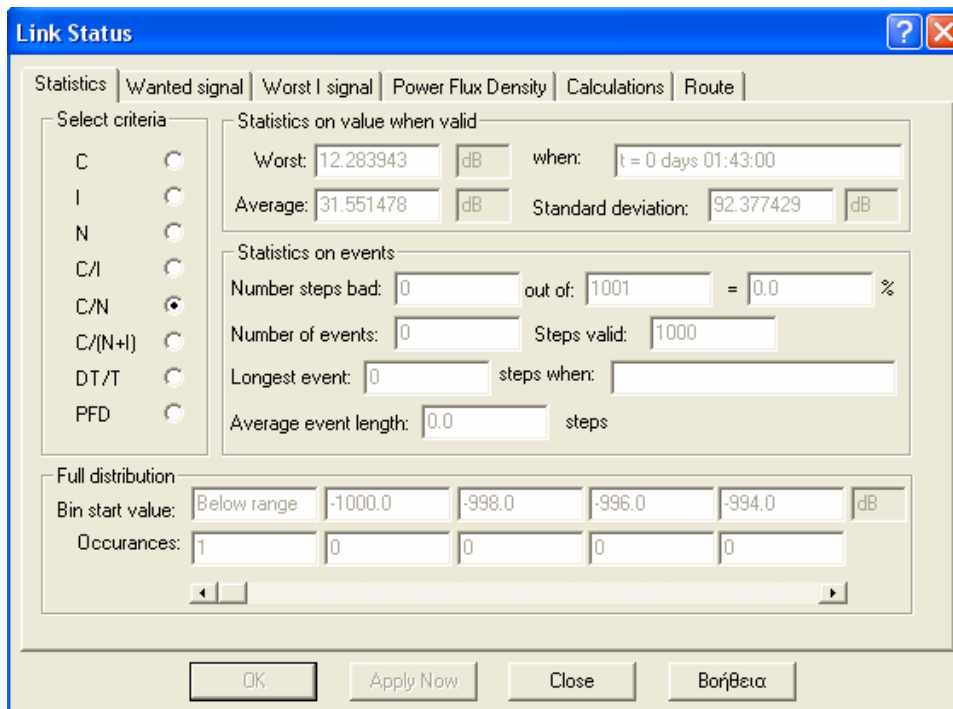
Σχήμα 7.34 Πλατφόρμα στα 21 km πάνω από τη Θεσσαλία και την Ήπειρο



Σχήμα 7.35 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλία και την Ήπειρο (21 km – UAC - 384 kbps)



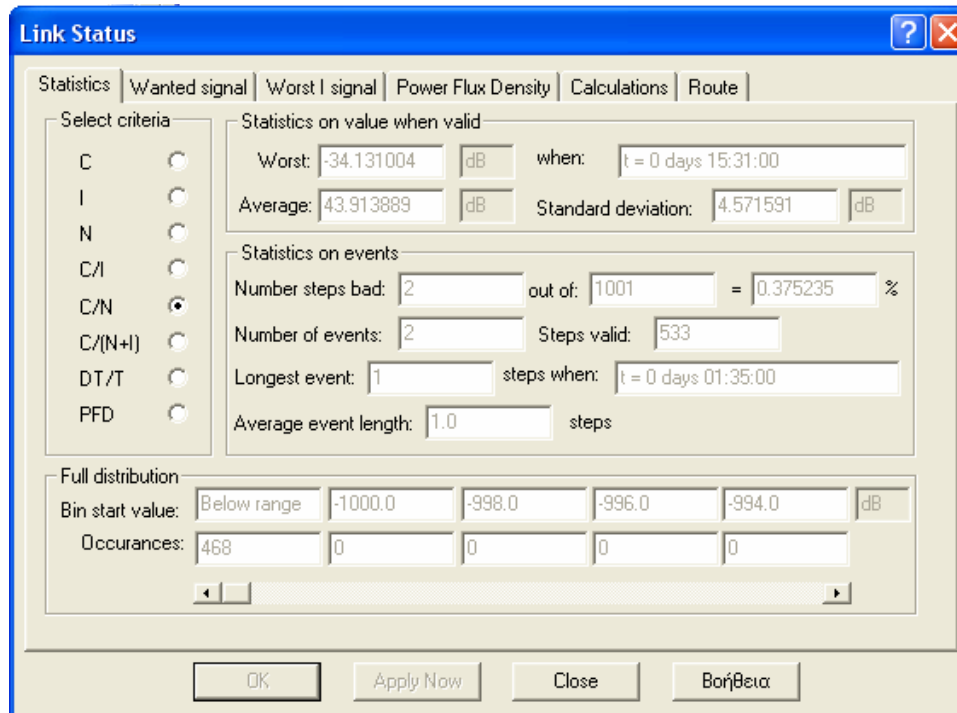
Διάγραμμα 7.30 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.36 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλία και την Ήπειρο (21 km – UAC -2000 kbps)

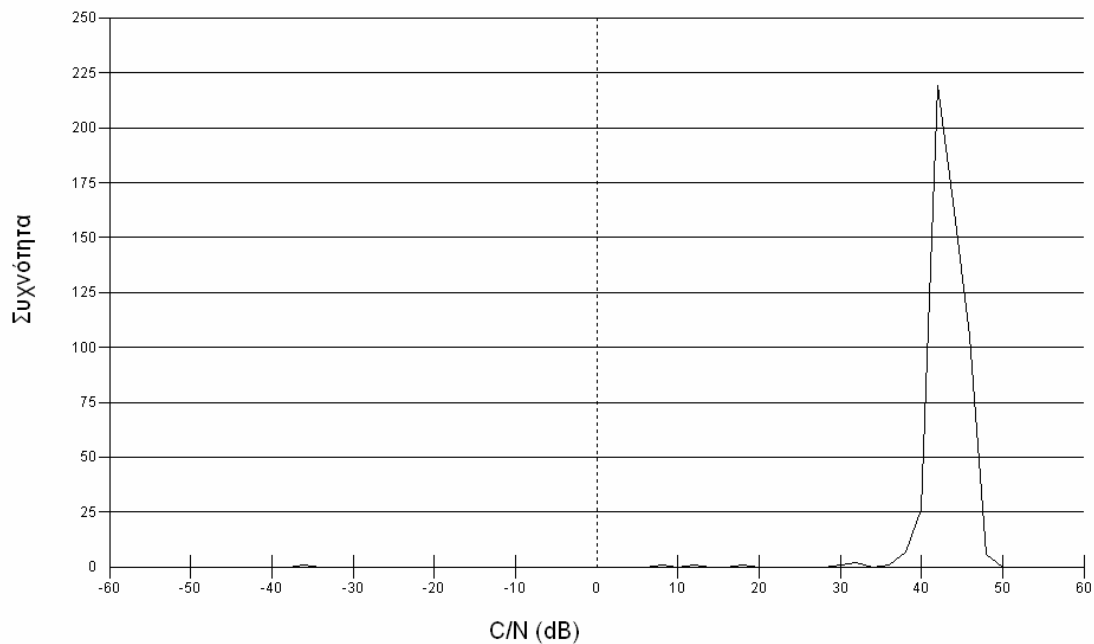


Διάγραμμα 7.31 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

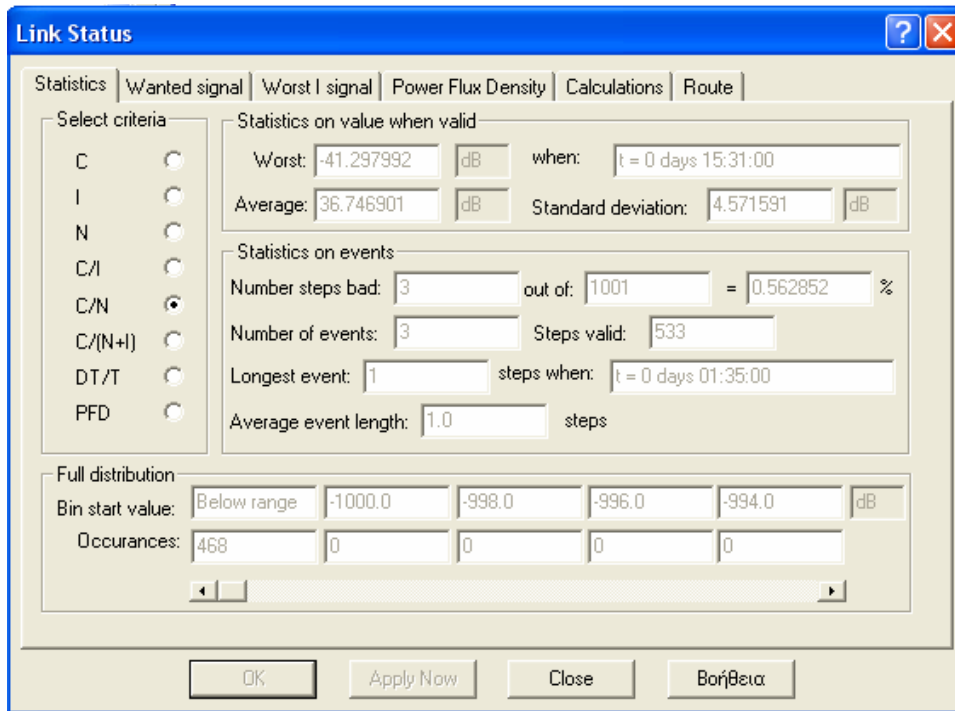


Σχήμα 7.37 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλία και την Ήπειρο (21 km – SAC - 384 kbps)

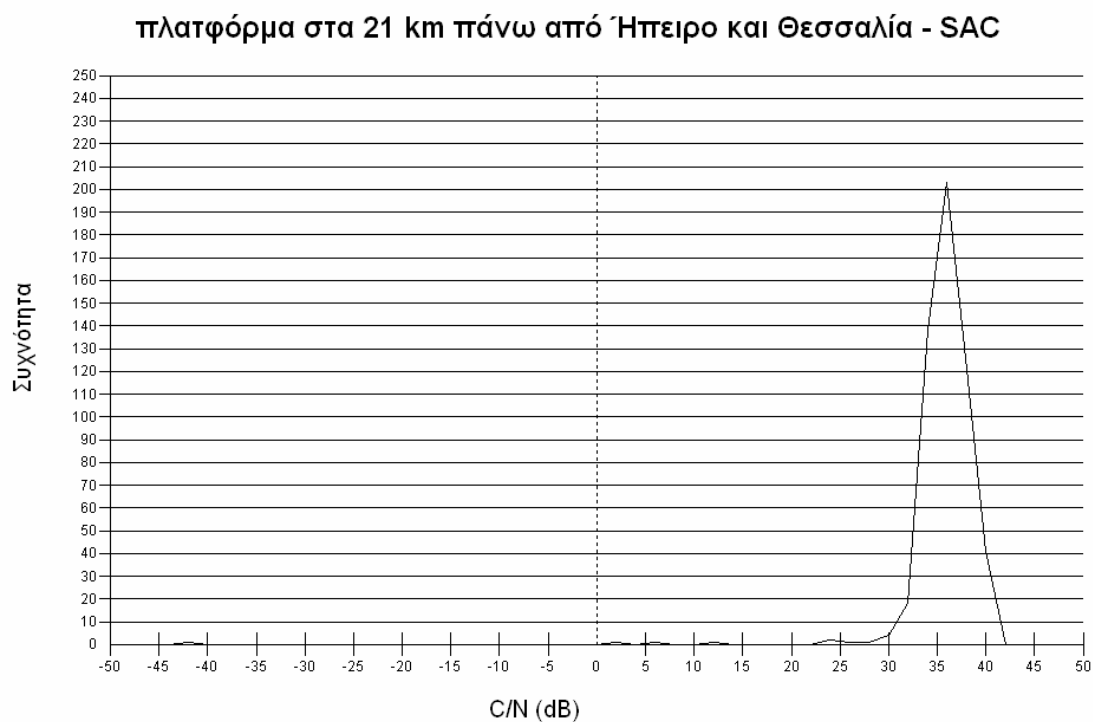
πλατφόρμα στα 21 km πάνω από Ήπειρο και Θεσσαλία - SAC



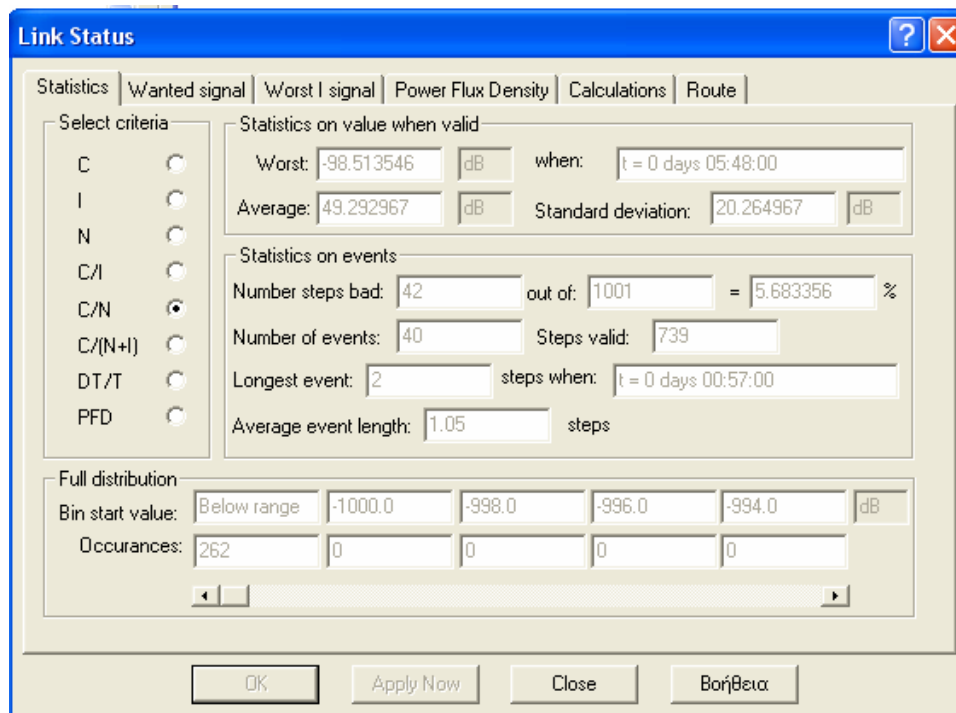
Διάγραμμα 7.32 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.38 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλία και την Ήπειρο (21 km – SAC - 2000 kbps)



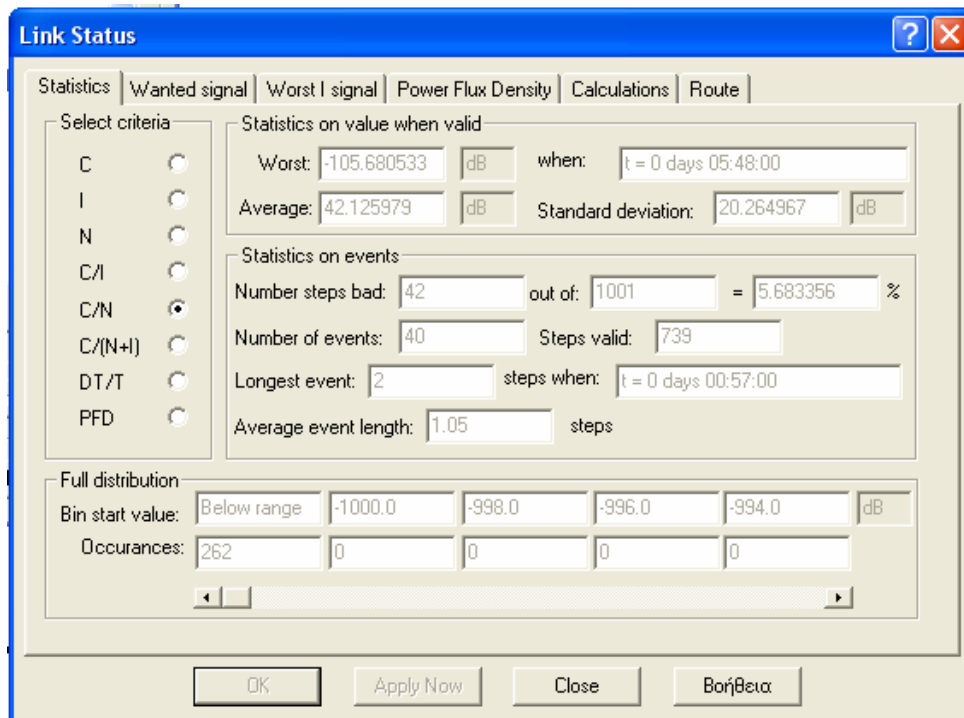
Διάγραμμα 7.33 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



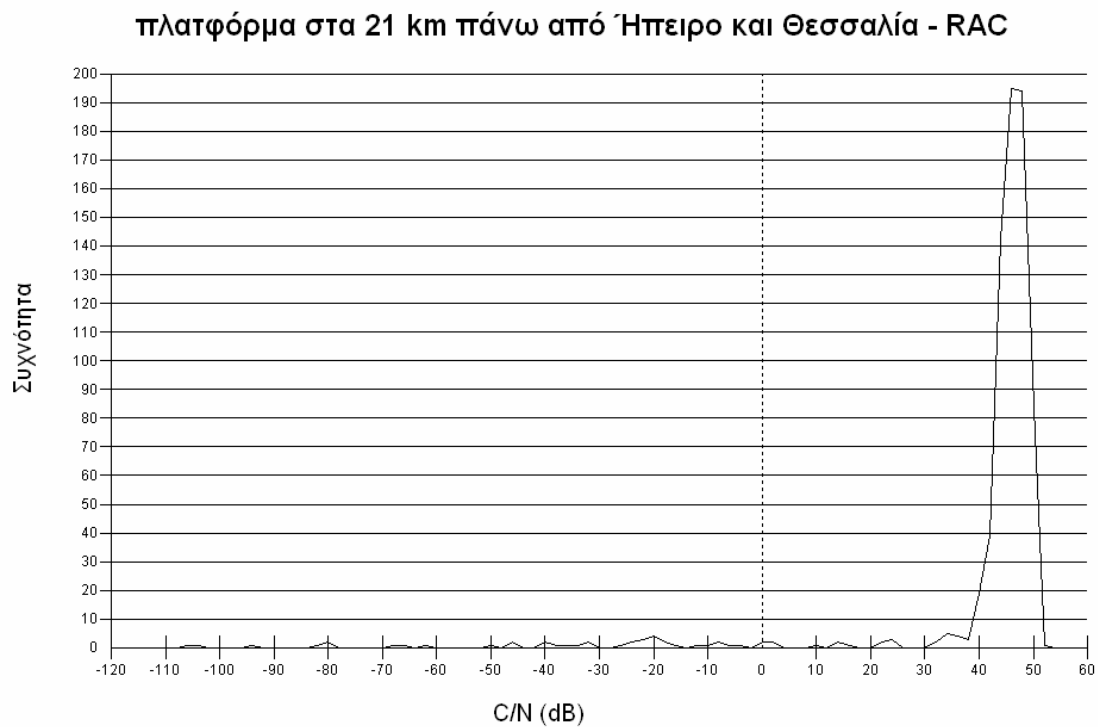
Σχήμα 7.39 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλία και την Ήπειρο (21 km – RAC - 384 kbps)



Διάγραμμα 7.34 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.40 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλία και την Ήπειρο (21 km – RAC - 2000 kbps)



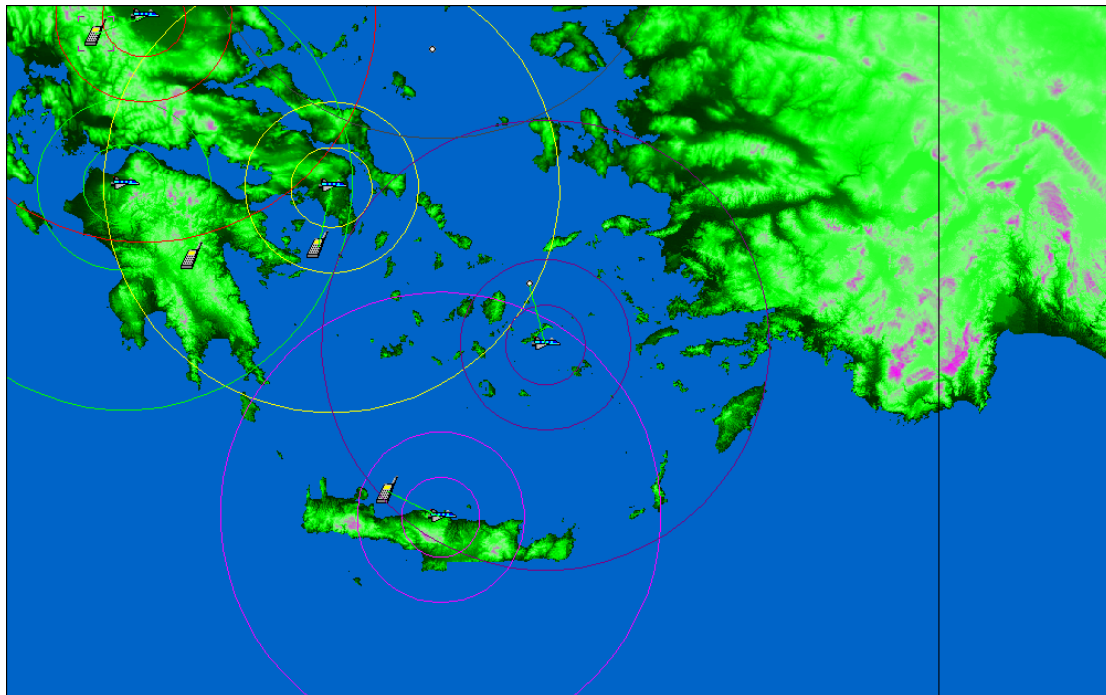
Διάγραμμα 7.35 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

Παρατηρούμε πως και στις τρεις ζώνες της περιοχής κάλυψης ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος που υπολογίσαμε είναι μεγαλύτερος του απαιτούμενου σηματοθορυβικού λόγου των 10.5 dB για μετάδοση τόσο δεδομένων όσο και audio και video.

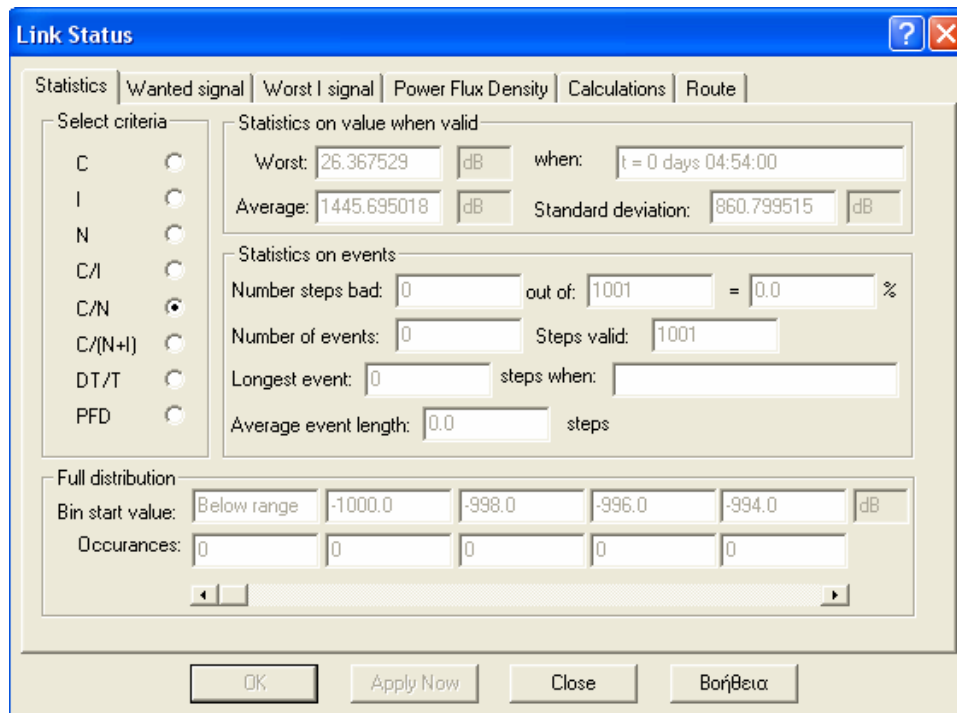
Συγκεκριμένα στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 38.72 dB, μέσο περιθώριο 28.22 dB ενώ 100% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 43.91 dB, μέσο περιθώριο 33.41 dB ενώ έχουμε 99.62% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 49.29 dB, μέσο περιθώριο 38.79 dB ενώ 94.32% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

Για ρυθμό μετάδοσης 2000 kbps, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 31.55 dB, μέσο περιθώριο 21.05 dB ενώ 100% των μετρήσεων είναι πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 36.75 dB, μέσο περιθώριο 26.25 dB ενώ έχουμε 99.44% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι 42.13 dB, το μέσο περιθώριο 31.63 dB ενώ 94.32% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από τις Κυκλάδες έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

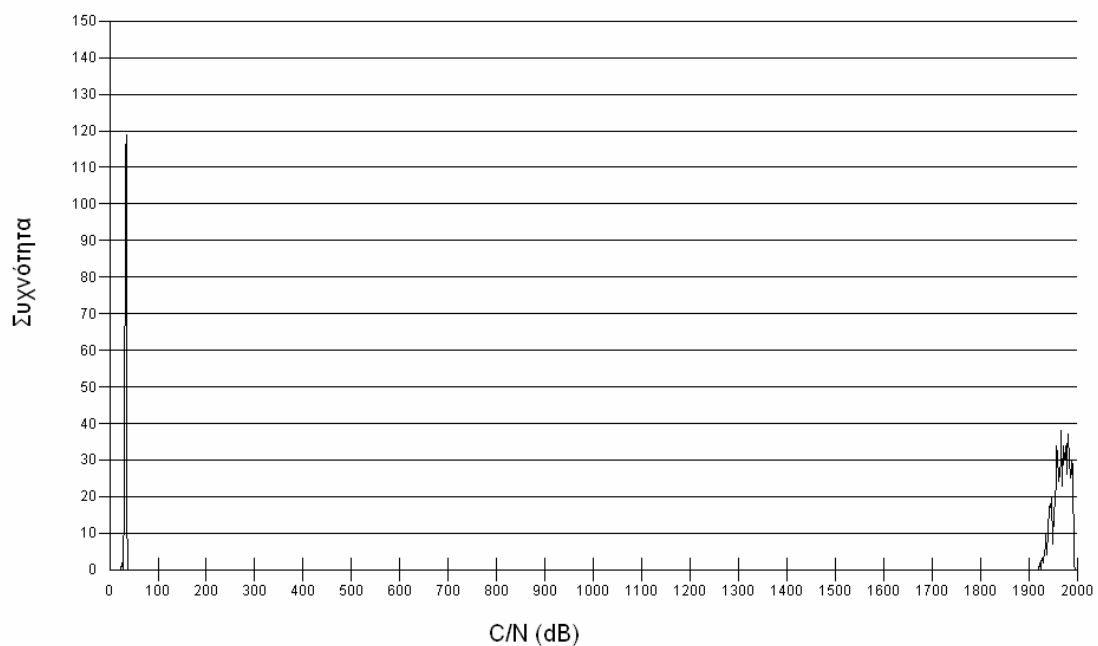


Σχήμα 7.41 Πλατφόρμα στα 21 km πάνω από τις Κυκλάδες



Σχήμα 7.42 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τις Κυκλάδες (21 km – UAC - 384 kbps)

πλατφόρμα στα 21 km πάνω από τις Κυκλάδες - UAC



Διάγραμμα 7.36 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

Link Status [?] [X]

Statistics | Wanted signal | Worst I signal | Power Flux Density | Calculations | Route

Select criteria:

- C
- I
- N
- C/I
- C/N
- C/(N+I)
- DT/T
- PFD

Statistics on value when valid:

Worst: 19.200541 dB when: t = 0 days 04:54:00

Average: 1438.528031 dB Standard deviation: 860.799515 dB

Statistics on events:

Number steps bad: 0 out of: 1001 = 0.0 %

Number of events: 0 Steps valid: 1001

Longest event: 0 steps when:

Average event length: 0.0 steps

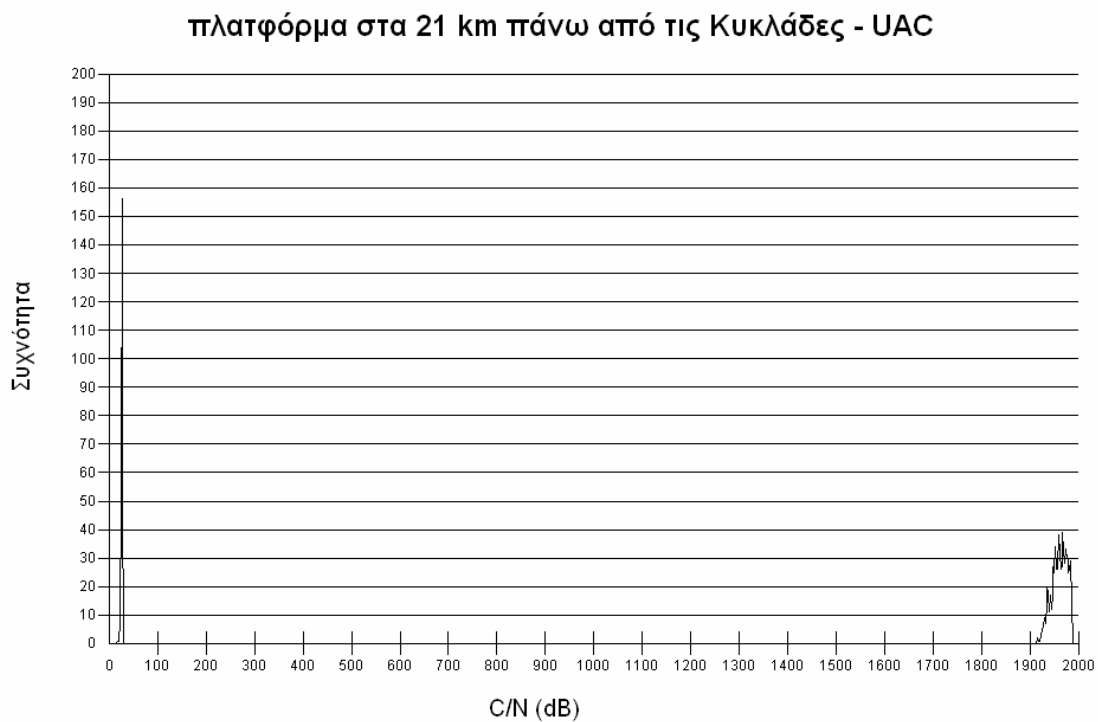
Full distribution:

Bin start value: Below range -1000.0 -998.0 -996.0 -994.0 dB

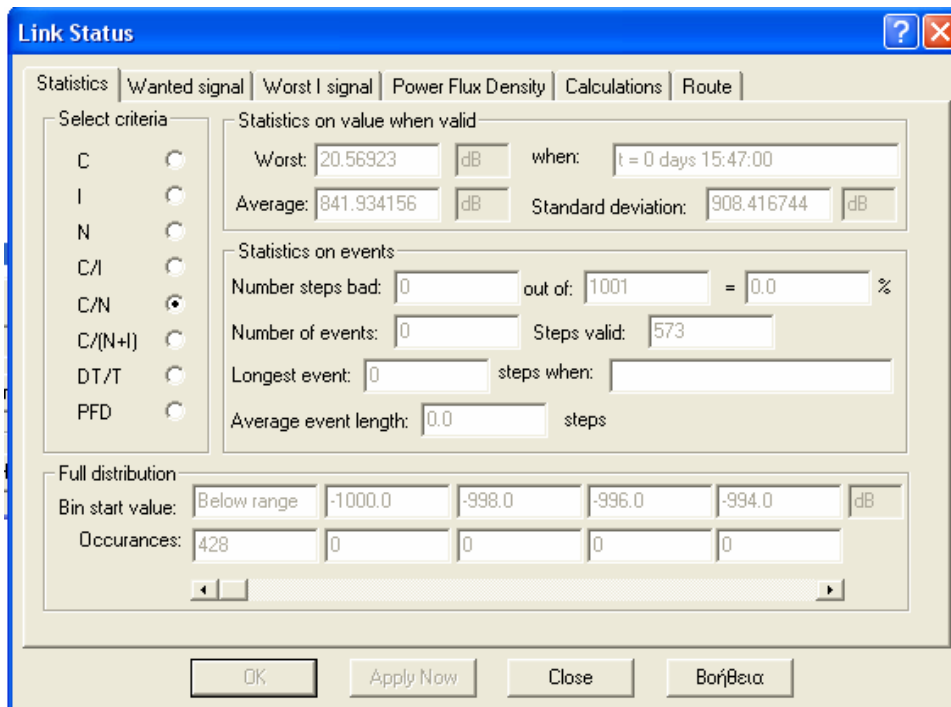
Occurrences: 0 0 0 0 0

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 7.43 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τις Κυκλάδες (21 km – UAC -2000 kbps)

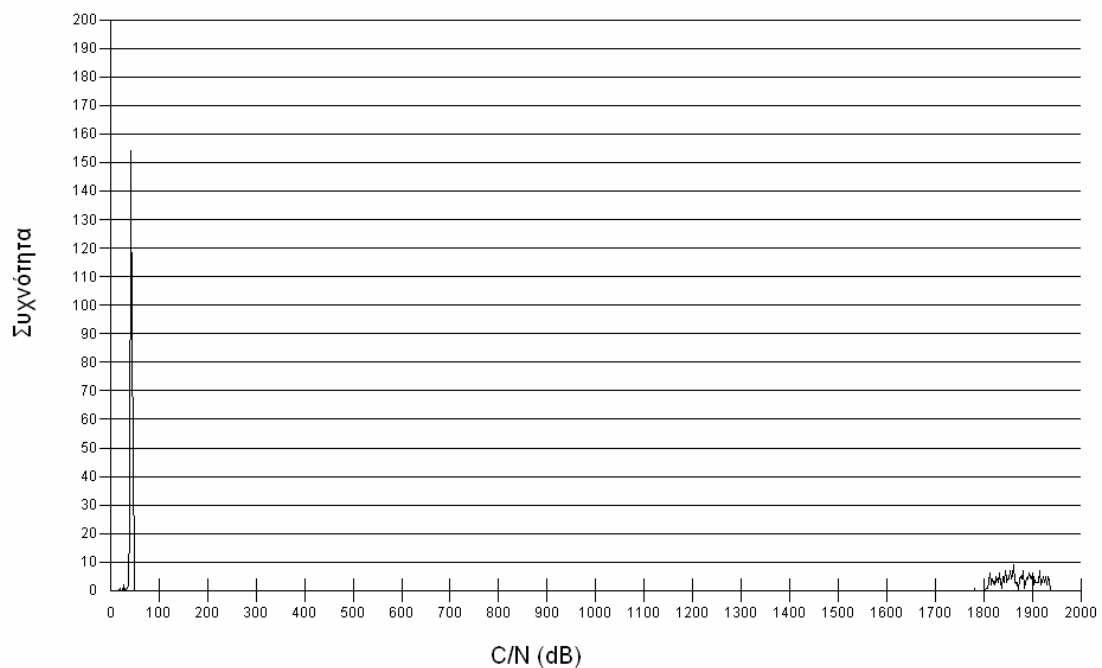


Διάγραμμα 7.37 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

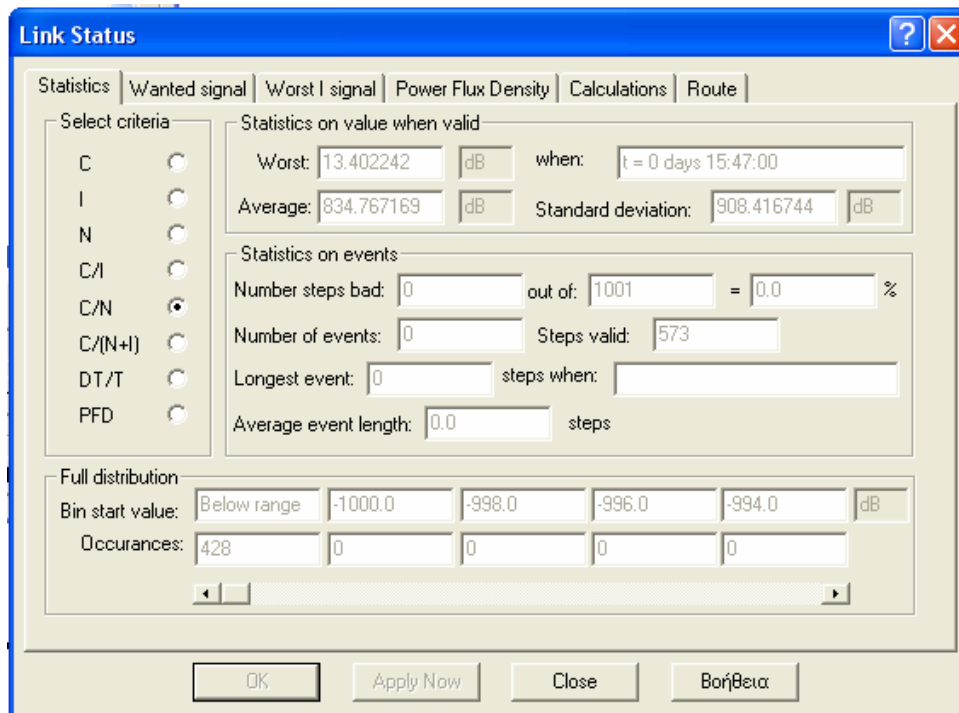


Σχήμα 7.44 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τις Κυκλάδες (21 km – SAC - 384 kbps)

πλατφόρμα στα 21 km πάνω από τις Κυκλάδες - SAC



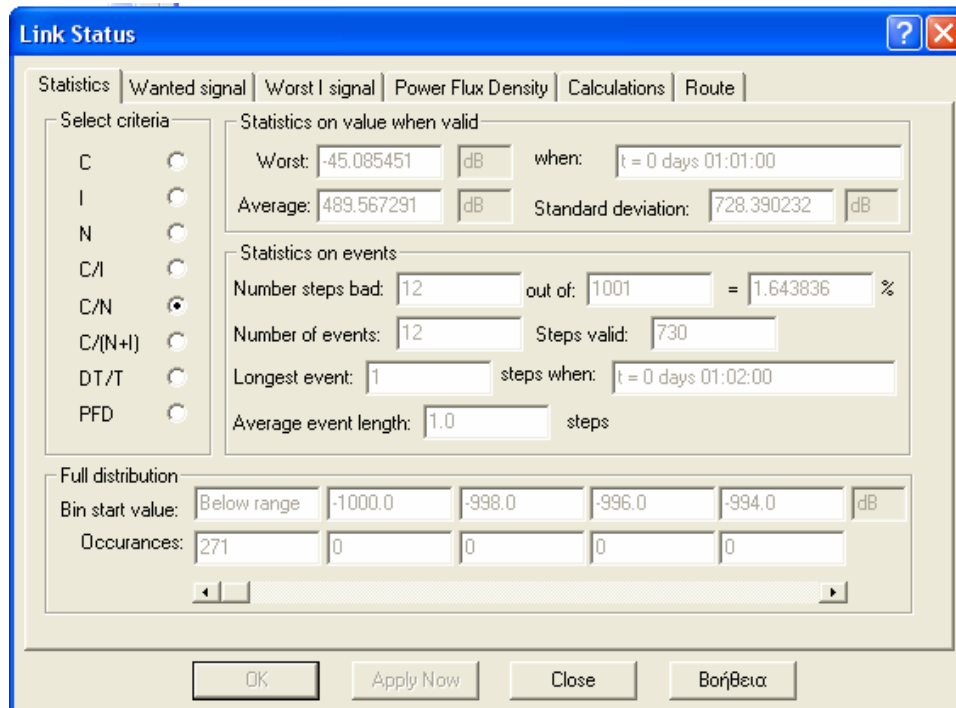
Διάγραμμα 7.38 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.45 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τις Κυκλάδες (21 km – SAC - 2000 kbps)

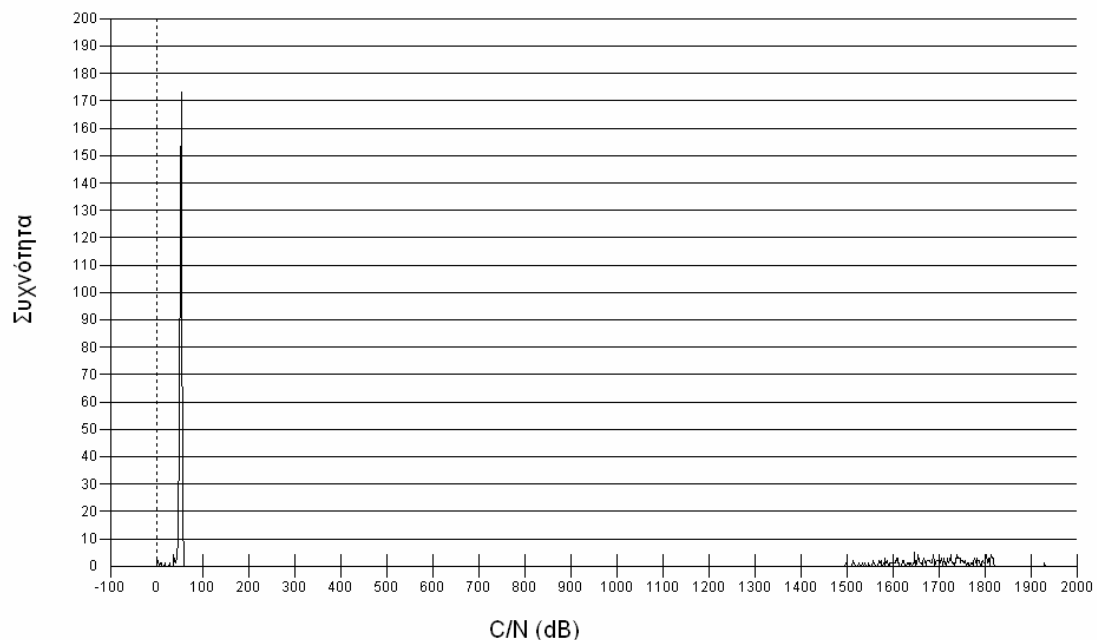


Διάγραμμα 7.39 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

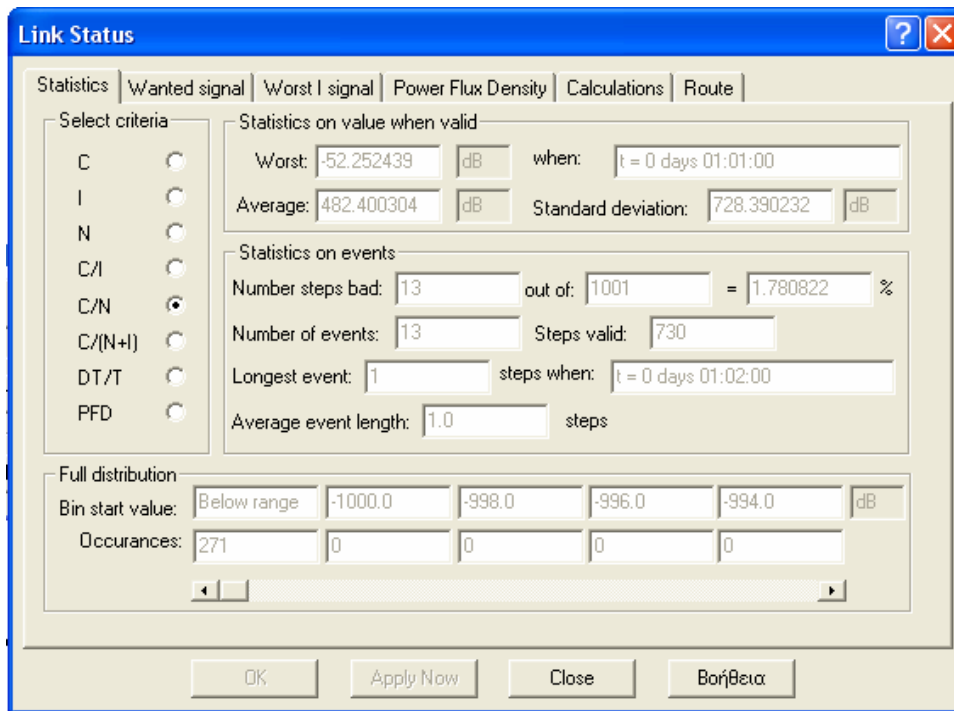


Σχήμα 7.46 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τις Κυκλάδες (21 km – RAC - 384 kbps)

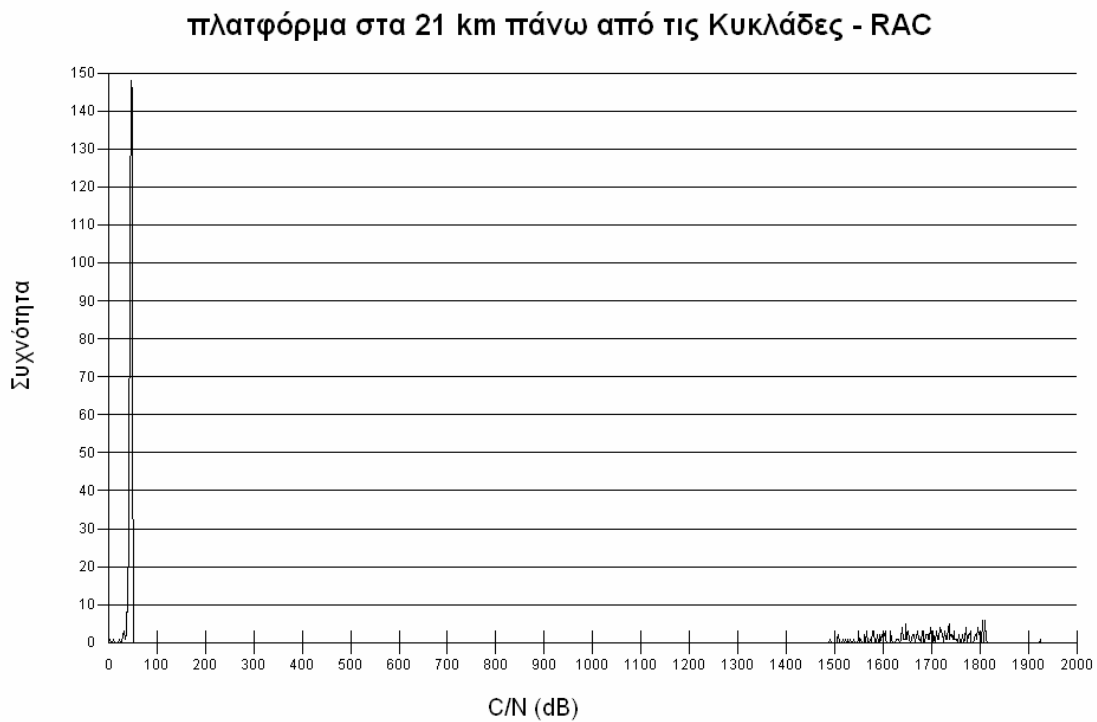
πλατφόρμα στα 21 km πάνω από τις Κυκλάδες - RAC



Διάγραμμα 7.40 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.47 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τις Κυκλάδες (21 km – RAC - 2000 kbps)



Διάγραμμα 7.41 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

Παρατηρούμε πως όπως και στην περιοχή της πλατφόρμας που βρίσκεται πάνω από την Ανατολική Μακεδονία, έτσι και στις Κυκλάδες ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι ιδιαίτερα μεγάλος, δημιουργώντας ένα πολύ ικανοποιητικό μέσο περιθώριο και καθιστώντας ιδιαίτερα επιτυχημένη επίδοση των ζεύξεων. Το κοινό των δύο περιοχών κάλυψης, στο οποίο αποδίδεται το παραπάνω φαινόμενο, είναι το γεγονός ότι μεγάλο μέρος αυτών των περιοχών κάλυψης αποτελείται από θαλάσσιο χώρο. Η ανάκλαση του εκπεμπόμενου σήματος στην επιφάνεια της θάλασσας και η προσθήκη των ανακλώμενων σημάτων σε αυτό που λαμβάνει ο δέκτης, καθιστά την τιμή του λαμβανόμενου σήματος ιδιαίτερα μεγάλη.

Κρίνοντας όμως μόνο από το μέσο σηματοθορυβικό λόγο, εξάγουμε υπεραισιόδοξα συμπεράσματα για τη λειτουργία του συστήματος αφού η ύπαρξη κάποιων πολύ υψηλών μετρήσεων, εκτοξεύει σε πολύ υψηλά επίπεδα και το μέσο σηματοθορυβικό λόγο ενώ η πλειονότητα των μετρήσεων κυμαίνεται σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα όπως απεικονίζεται και στα παραπάνω διαγράμματα.

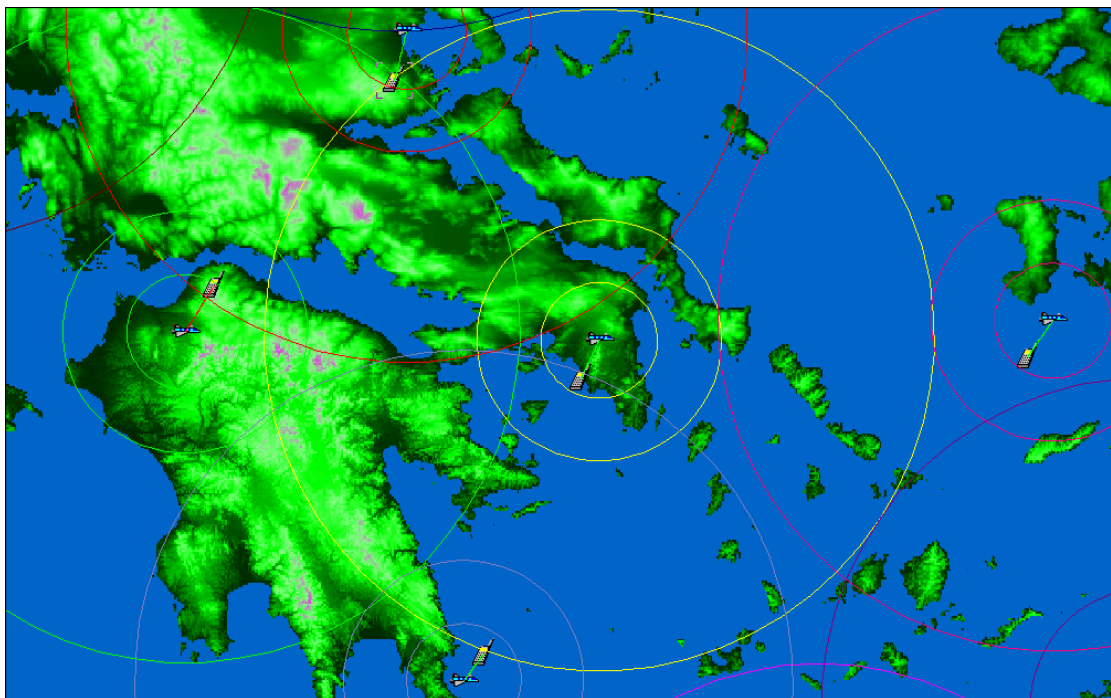
Οι επιδόσεις των ζεύξεων όμως στις Κυκλάδες εξακολουθούν να κρίνονται ιδιαίτερα ικανοποιητικές, όπως φαίνεται και από τα ποσοστά των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB που παραθέσαμε. Συγκεκριμένα για ρυθμό μετάδοσης 384 kbps, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 1445.7 dB, μέσο περιθώριο 1435.2 dB ενώ έχουμε 100% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 841.9 dB, μέσο περιθώριο 831.4 dB ενώ έχουμε 100% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 489.6 dB, μέσο περιθώριο 479.1 dB ενώ 98.36% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

Για ρυθμό μετάδοσης 2000 kbps, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 1438.53 dB, μέσο περιθώριο 1428.03 dB ενώ έχουμε 100% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι 834.77 dB, το μέσο περιθώριο 824.27 dB ενώ 100% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 482.4 dB, μέσο περιθώριο 471.9 dB ενώ έχουμε 98.22% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

7.4 2^ο σενάριο: Ραδιοκάλυψη με τις πλατφόρμες τοποθετημένες στα 15 km και μελέτη του λόγου E_b/N_0

Χρησιμοποιώντας το σενάριο της ραδιοκάλυψης για τα 15 km , υπολογίσαμε το σηματοθορυβικό λόγο στην ζώνη κάλυψης της κάθε πλατφόρμας. Στη συνέχεια, συγκρίναμε τα παραπάνω αποτελέσματα με τον απαιτούμενο σηματοθορυβικό λόγο για μετάδοση δεδομένων, ήχου και εικόνας.

- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από την Αθήνα έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



Σχήμα 7.48 Πλατφόρμα στα 15 km πάνω από την Αθήνα

Link Status [?] [X]

Statistics | Wanted signal | Worst I signal | Power Flux Density | Calculations | Route

Select criteria

C

I

N

C/I

C/N

C/(N+I)

DT/T

PFD

Statistics on value when valid

Worst: 21.414936 dB when: t = 0 days 11:21:00

Average: 42.848731 dB Standard deviation: 101.232525 dB

Statistics on events

Number steps bad: 0 out of: 1001 = 0.0 %

Number of events: 0 Steps valid: 983

Longest event: 0 steps when:

Average event length: 0.0 steps

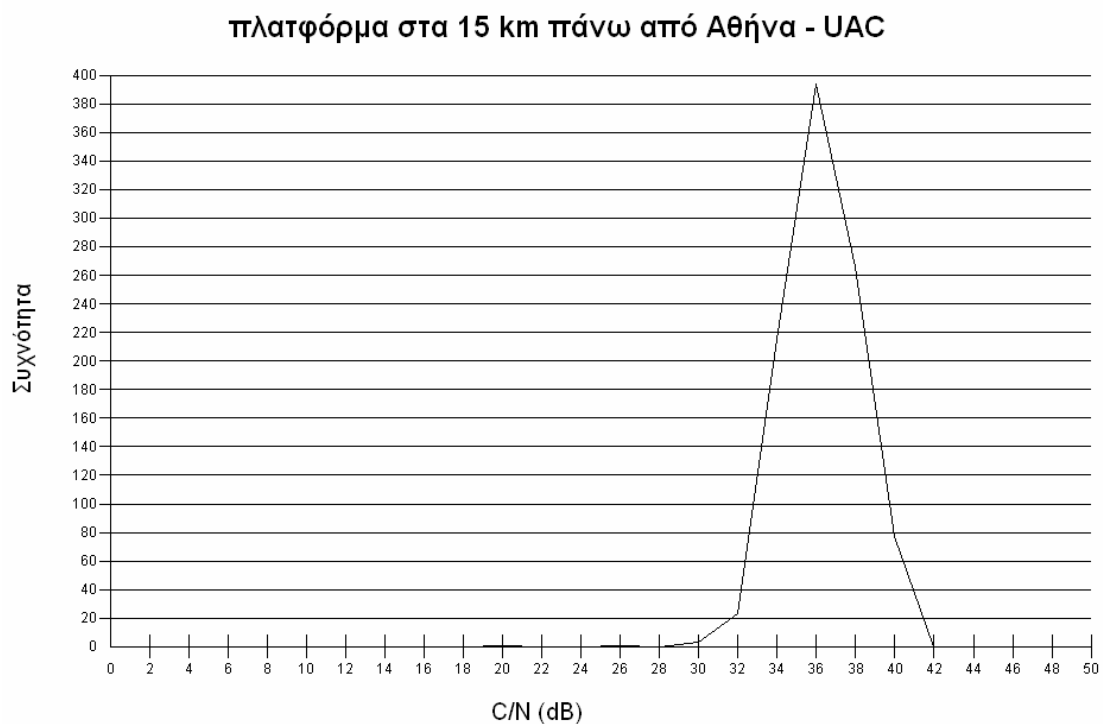
Full distribution

Bin start value: Below range -1000.0 -998.0 -996.0 -994.0 dB

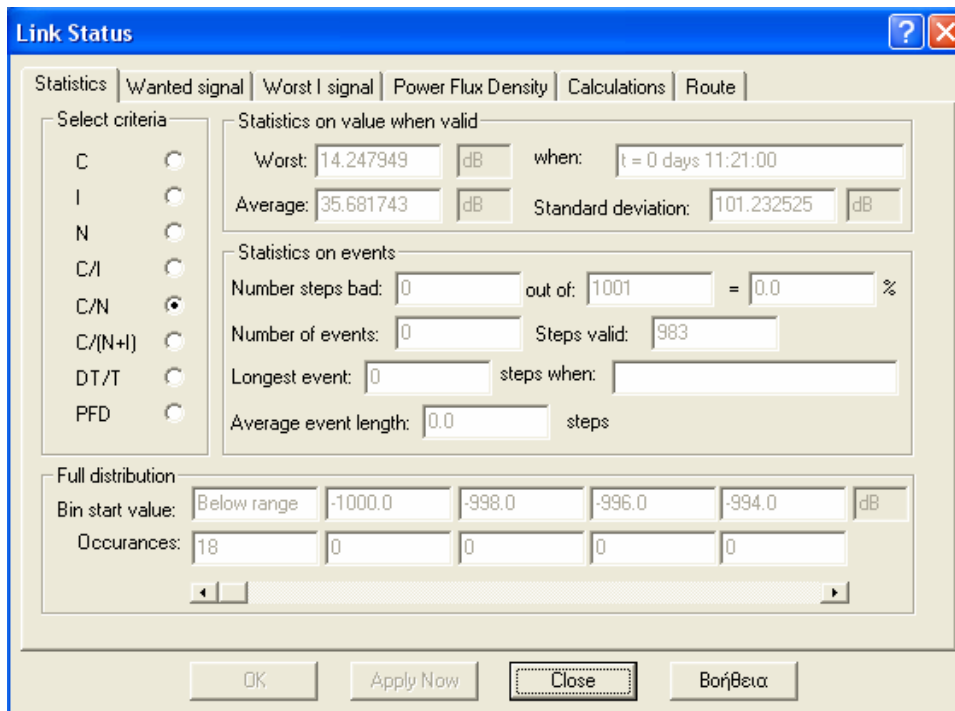
Occurrences: 18 0 0 0 0

OK Apply Now Close Βοήθεια

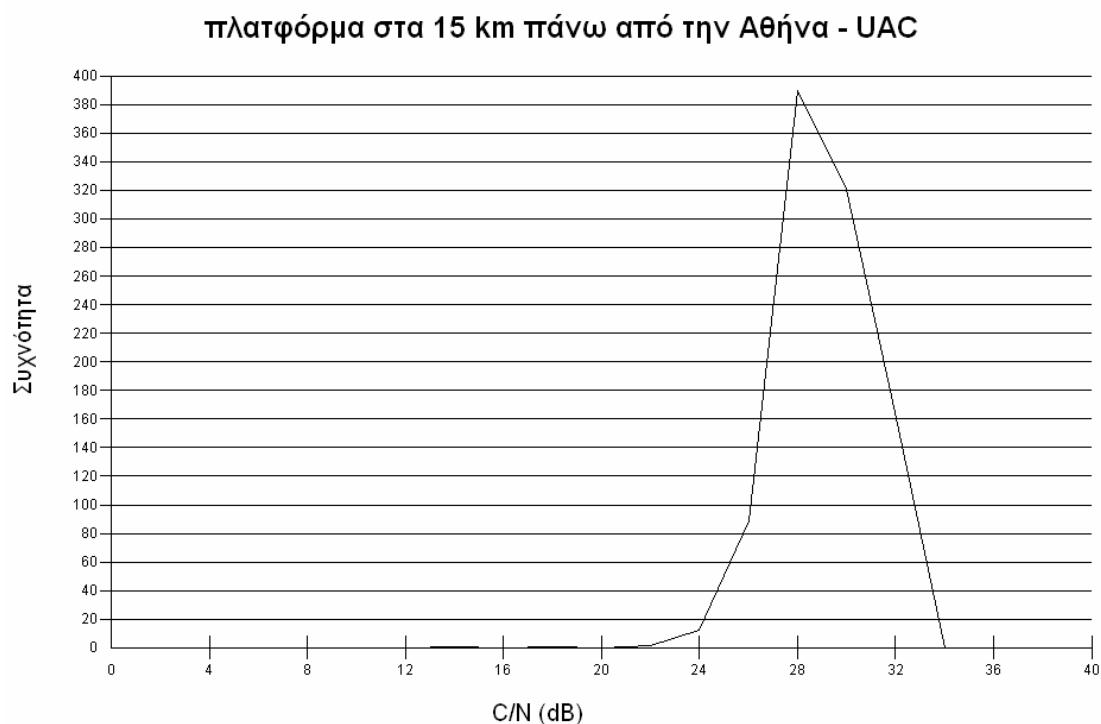
Σχήμα 7.49 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (15 km – UAC - 384 kbps)



Διάγραμμα 7.42 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.50 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (15 km – UAC -2000 kbps)



Διάγραμμα 7.43 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

Link Status [?] [X]

Statistics | Wanted signal | Worst I signal | Power Flux Density | Calculations | Route

Select criteria

C

I

N

C/I

C/N

C/(N+I)

DT/T

PFD

Statistics on value when valid

Worst: 23.750579 dB when: t = 0 days 11:21:00

Average: 46.907405 dB Standard deviation: 2.338677 dB

Statistics on events

Number steps bad: 0 out of: 1001 = 0.0 %

Number of events: 0 Steps valid: 669

Longest event: 0 steps when:

Average event length: 0.0 steps

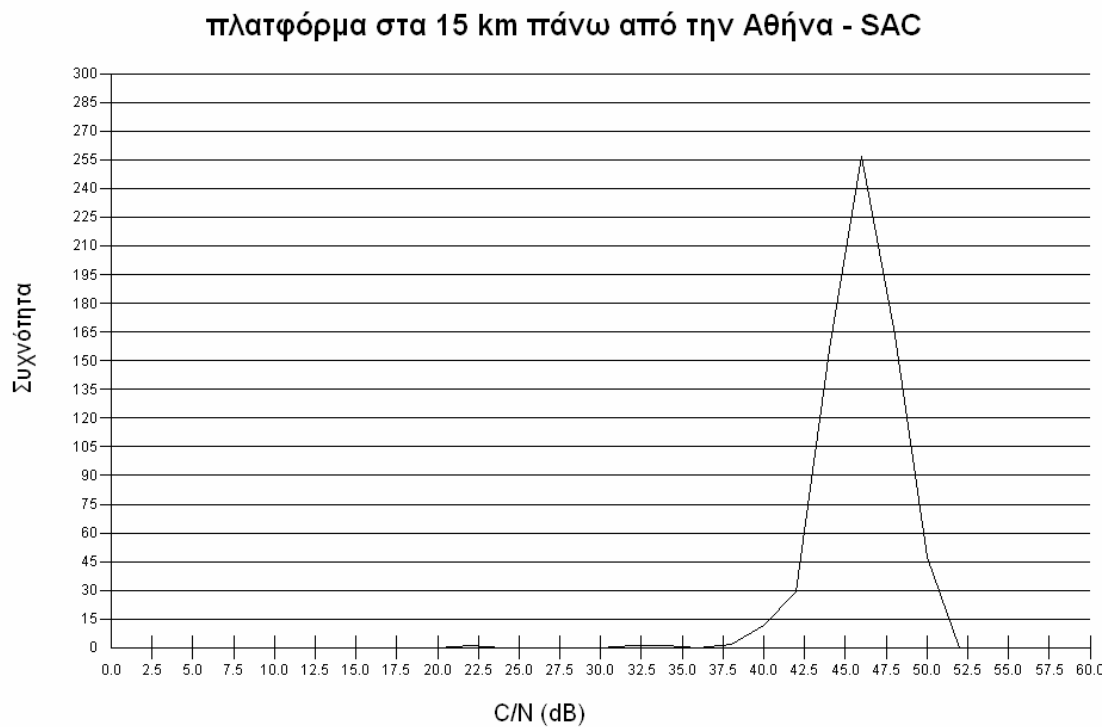
Full distribution

Bin start value: Below range -1000.0 -998.0 -996.0 -994.0 dB

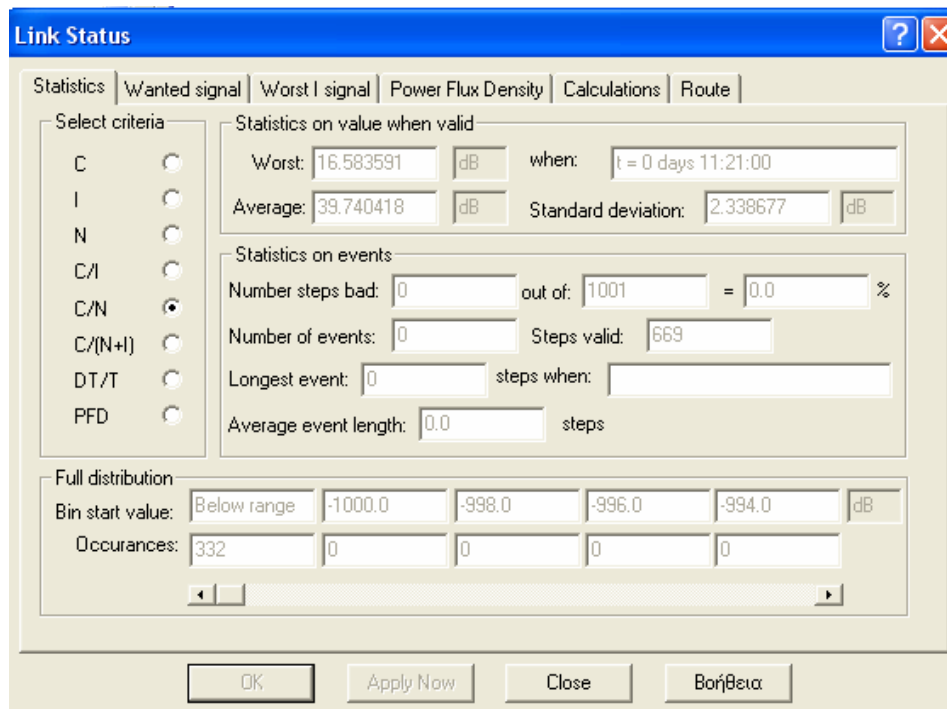
Occurrences: 332 0 0 0 0

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 7.51 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (15 km – SAC - 384 kbps)

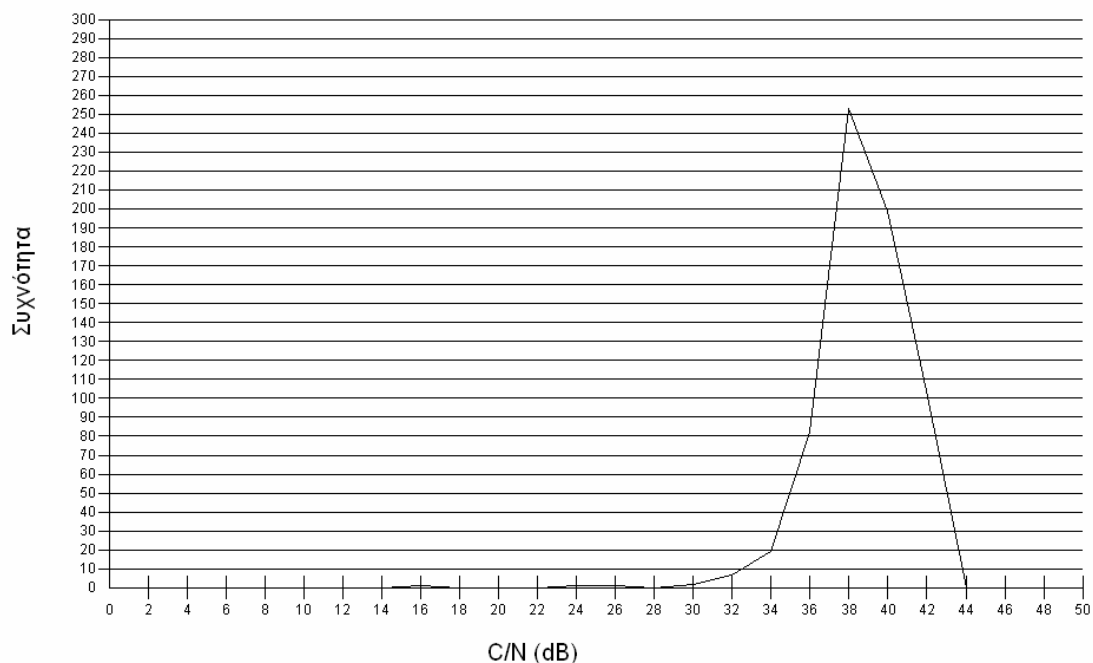


Διάγραμμα 7.44 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

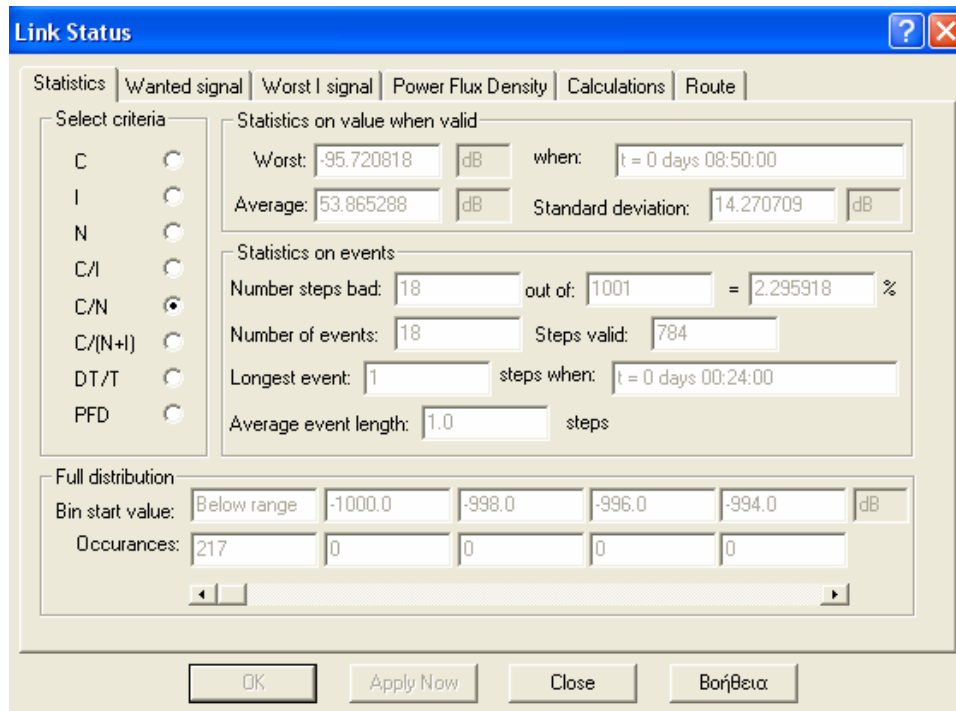


Σχήμα 7.52 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (15 km – SAC - 2000 kbps)

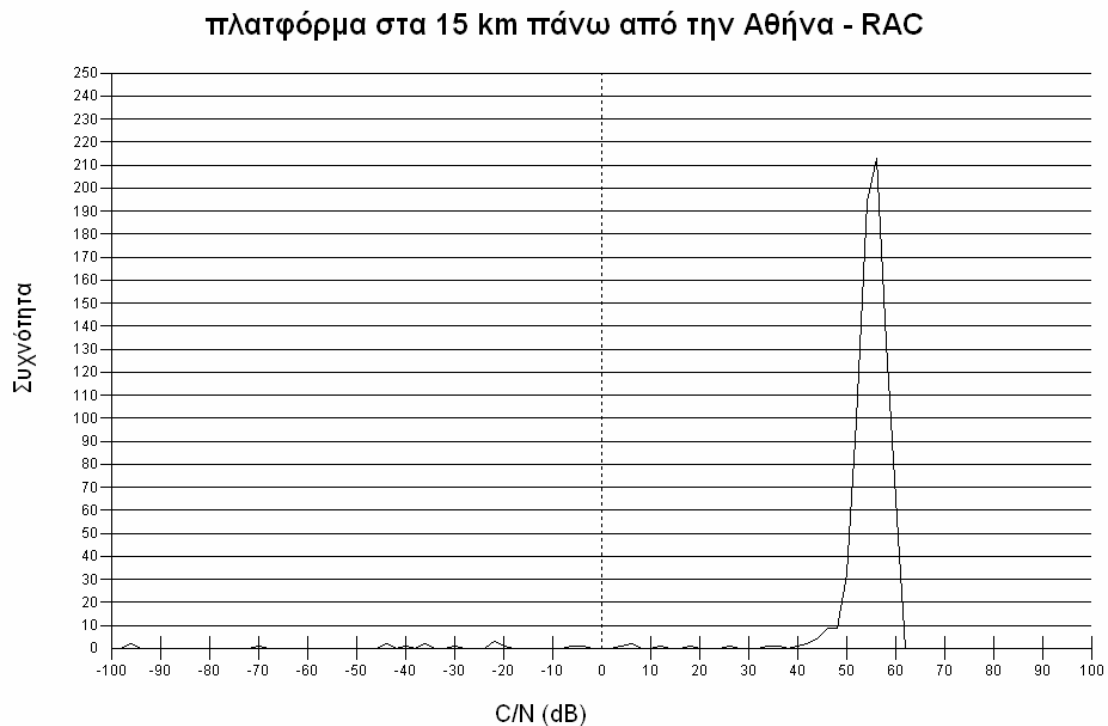
πλατφόρμα στα 15 km πάνω από την Αθήνα - SAC



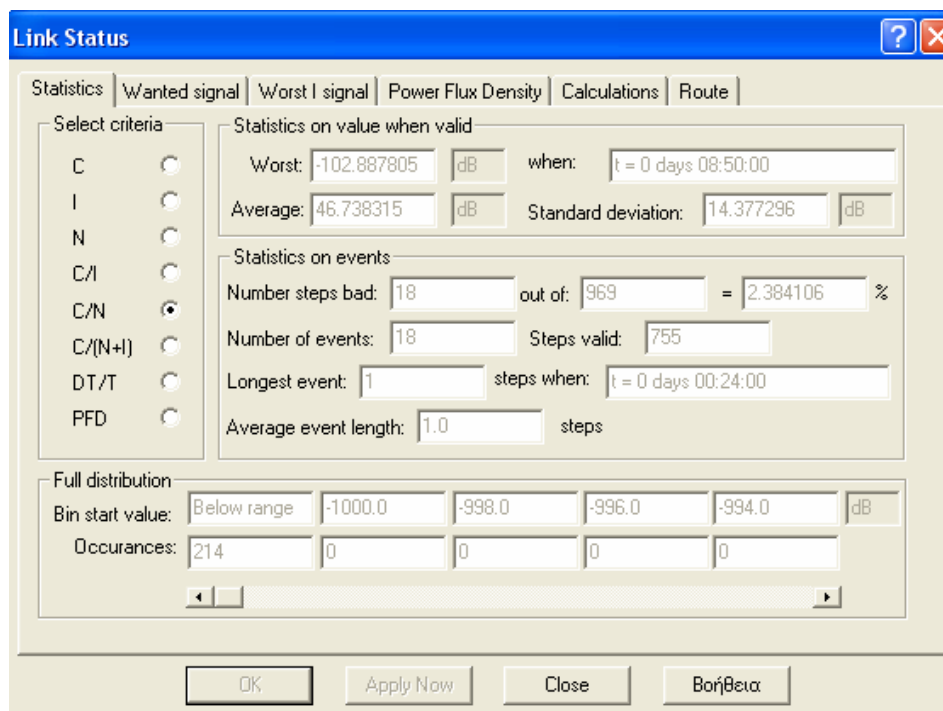
Διάγραμμα 7.45 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



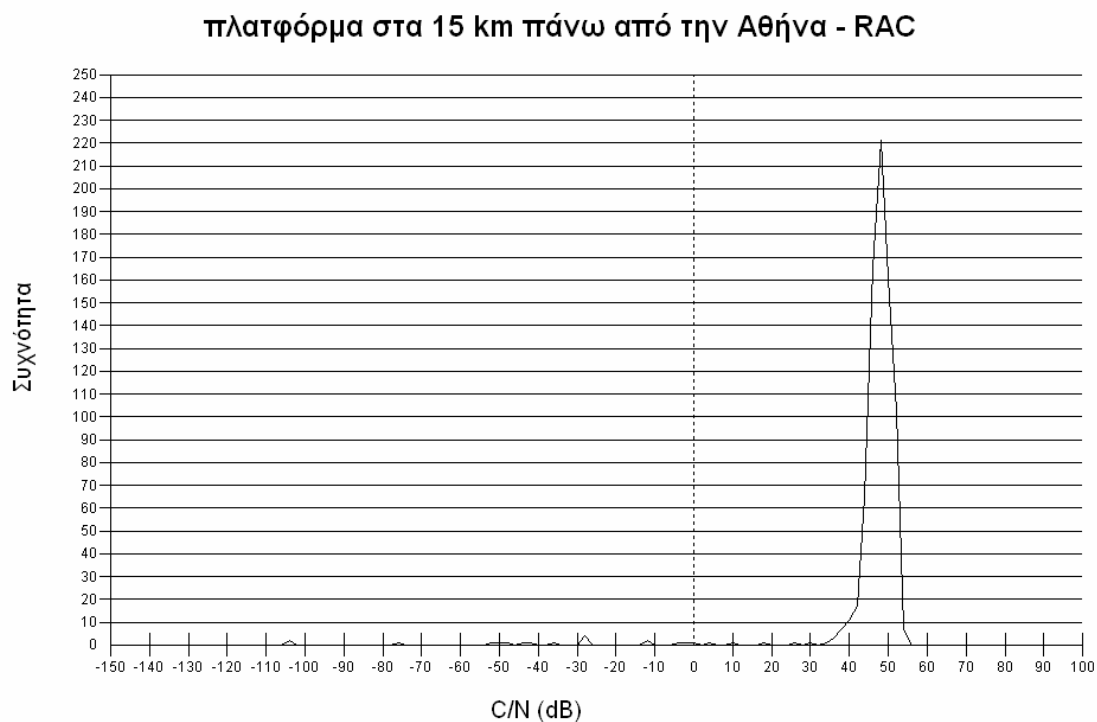
Σχήμα 7.53 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (15 km – RAC - 384 kbps)



Διάγραμμα 7.46 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.54 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (15 km – RAC - 2000 kbps)



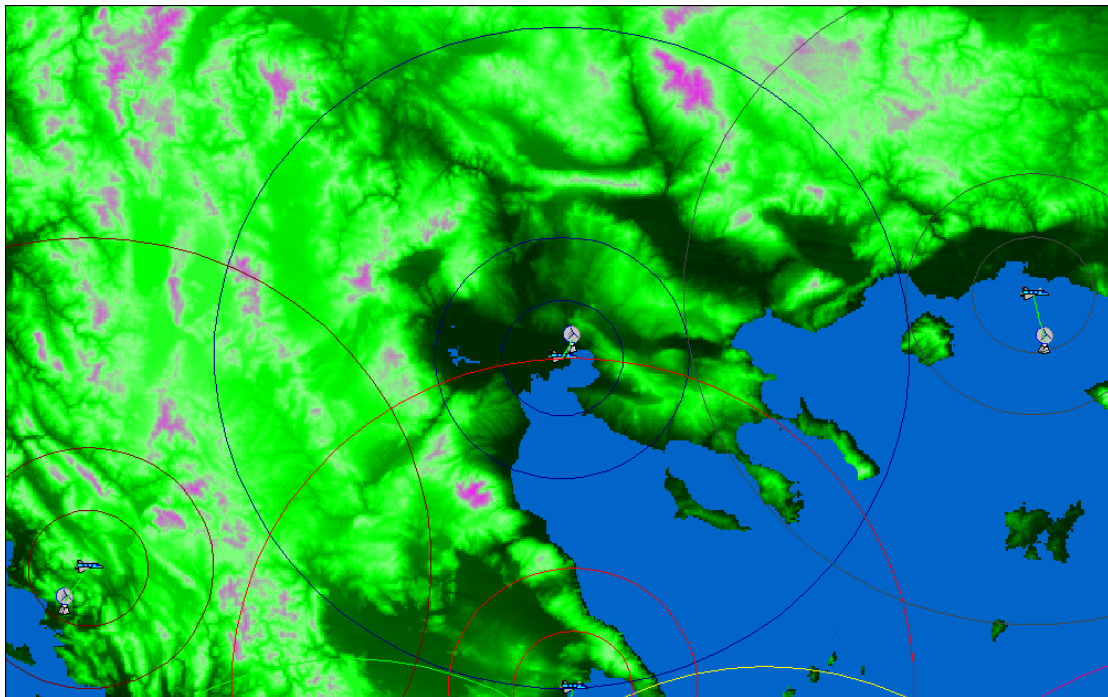
Διάγραμμα 7.47 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

Παρατηρούμε πως και στις τρεις ζώνες της περιοχής κάλυψης ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος που υπολογίσαμε είναι μεγαλύτερος του απαιτούμενου σηματοθορυβικού λόγου των 10.5 dB για μετάδοση τόσο δεδομένων όσο και audio και video.

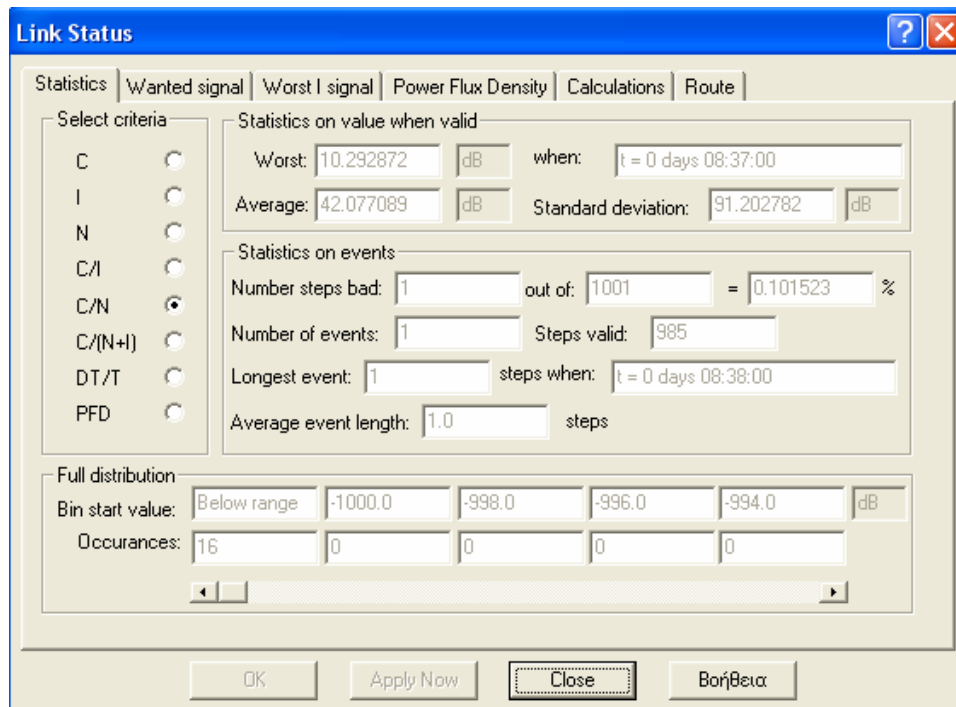
Συγκεκριμένα στη UAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος 42.85 dB, το μέσο περιθώριο 32.35 dB ενώ 100% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 46.9 dB, μέσο περιθώριο 36.4 dB ενώ 100% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 53.87 dB, μέσο περιθώριο 43.37 dB ενώ 97.7% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

Για ρυθμό μετάδοσης 2000 kbps, στη UAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι 35.68 dB, το μέσο περιθώριο 25.18 dB ενώ έχουμε 100% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι 39.74 dB, το μέσο περιθώριο 29.24 dB ενώ 100% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 46.7 dB, μέσο περιθώριο 36.2 dB ενώ έχουμε 97.58% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από τη Θεσσαλονίκη έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



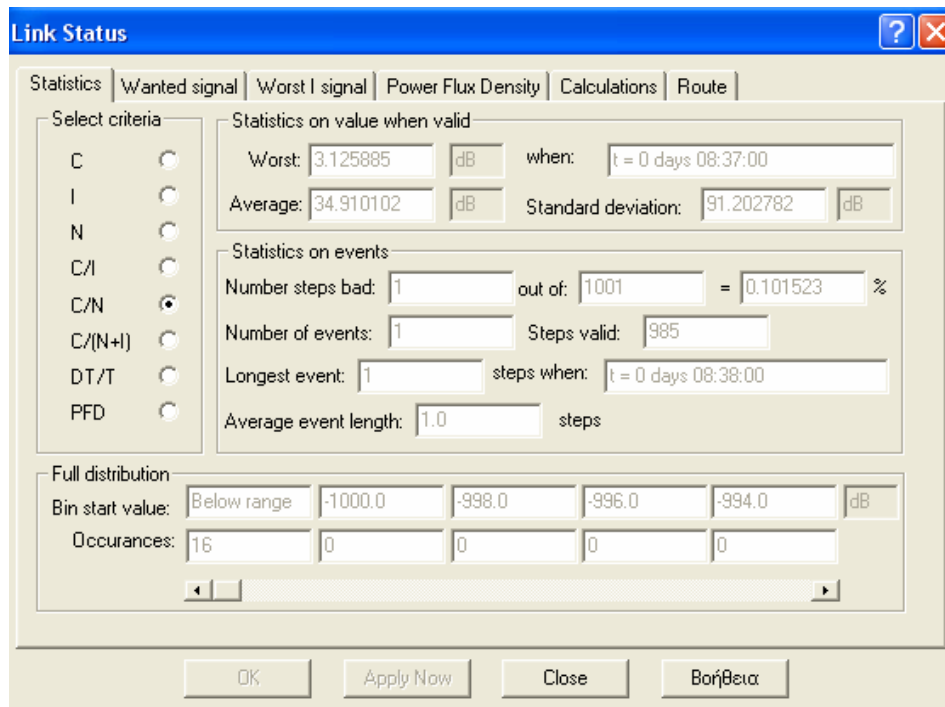
Σχήμα 7.55 Πλατφόρμα στα 15 km πάνω από τη Θεσσαλονίκη



Σχήμα 7.56 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλονίκη (15 km – UAC - 384 kbps)



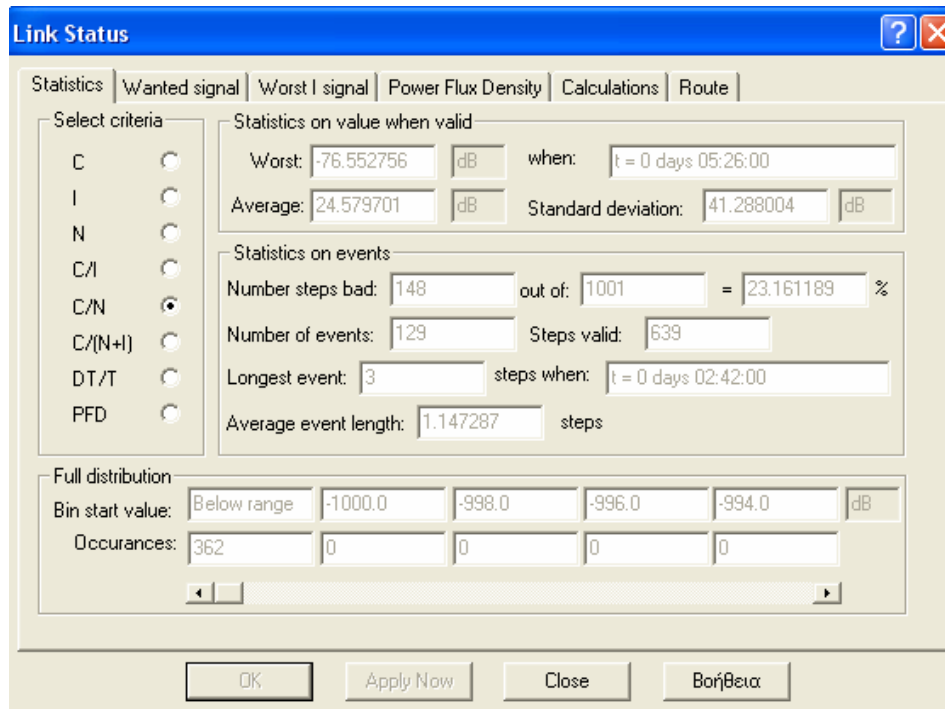
Διάγραμμα 7.48 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



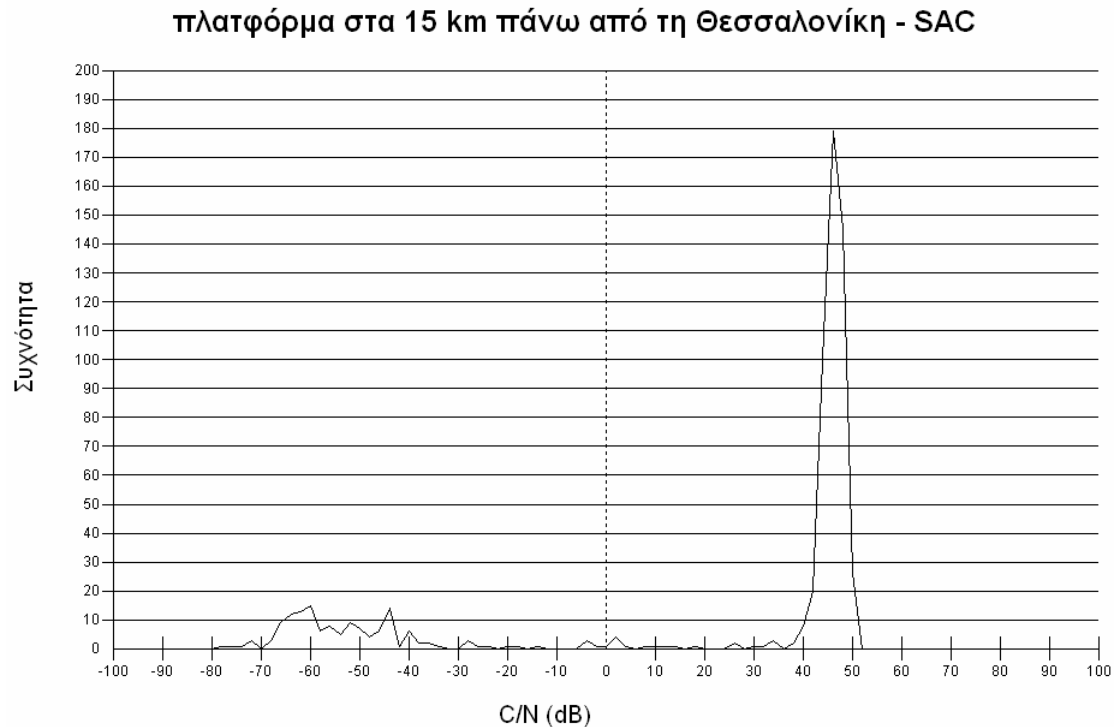
Σχήμα 7.57 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλονίκη (15 km – UAC -2000 kbps)



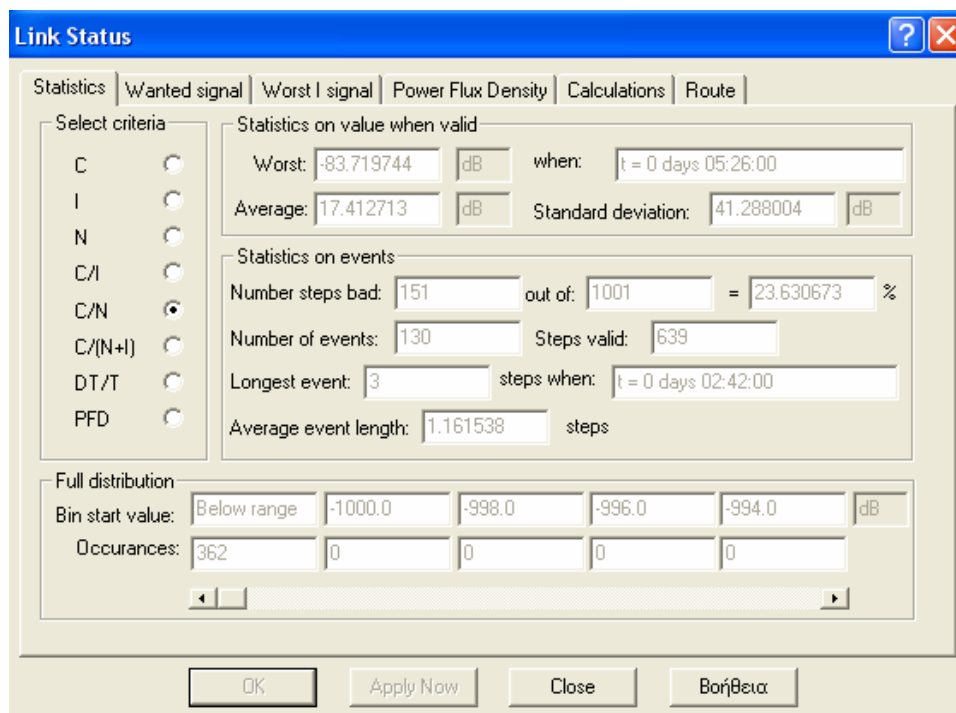
Διάγραμμα 7.49 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



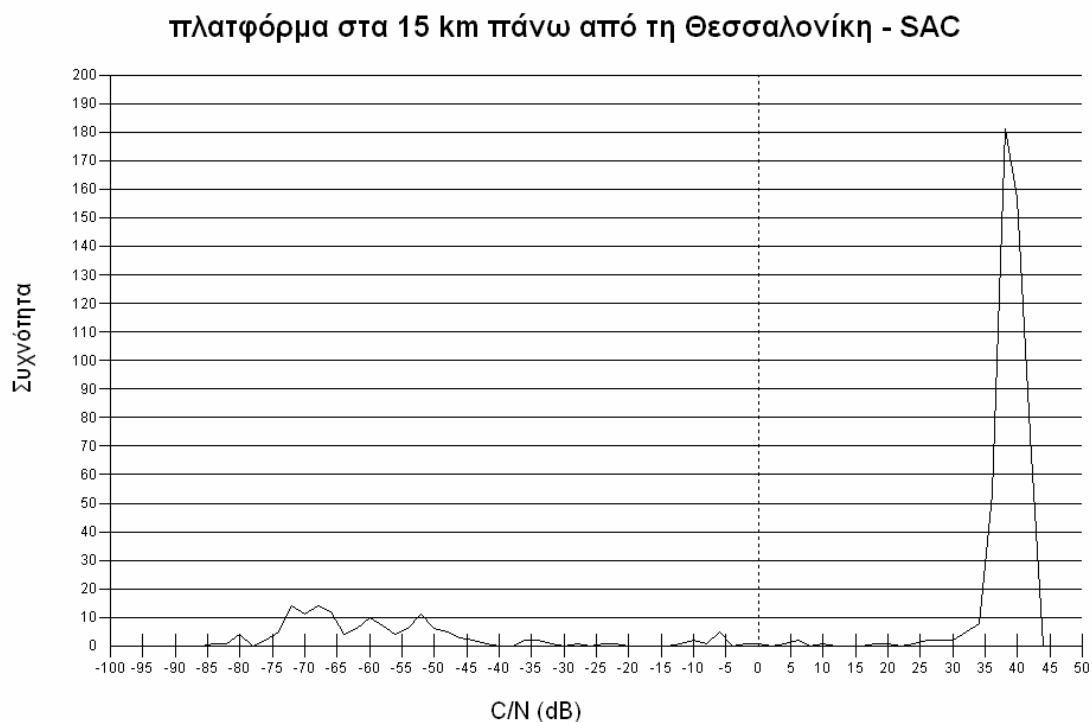
Σχήμα 7.58 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλονίκη (15 km – SAC - 384 kbps)



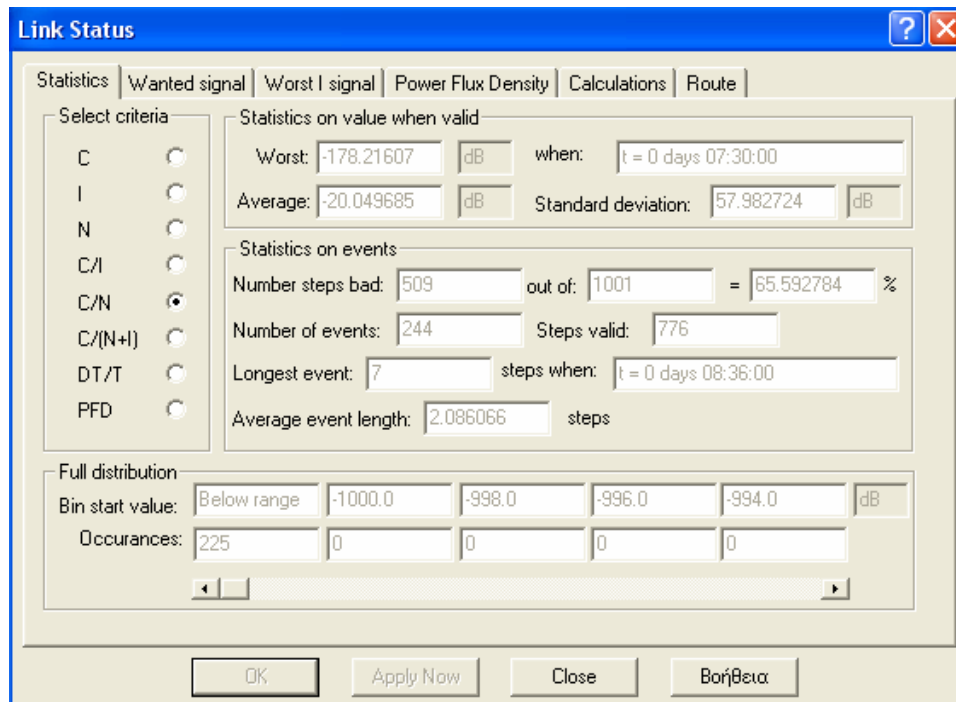
Διάγραμμα 7.50 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.59 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλονίκη (15 km – SAC - 2000 kbps)



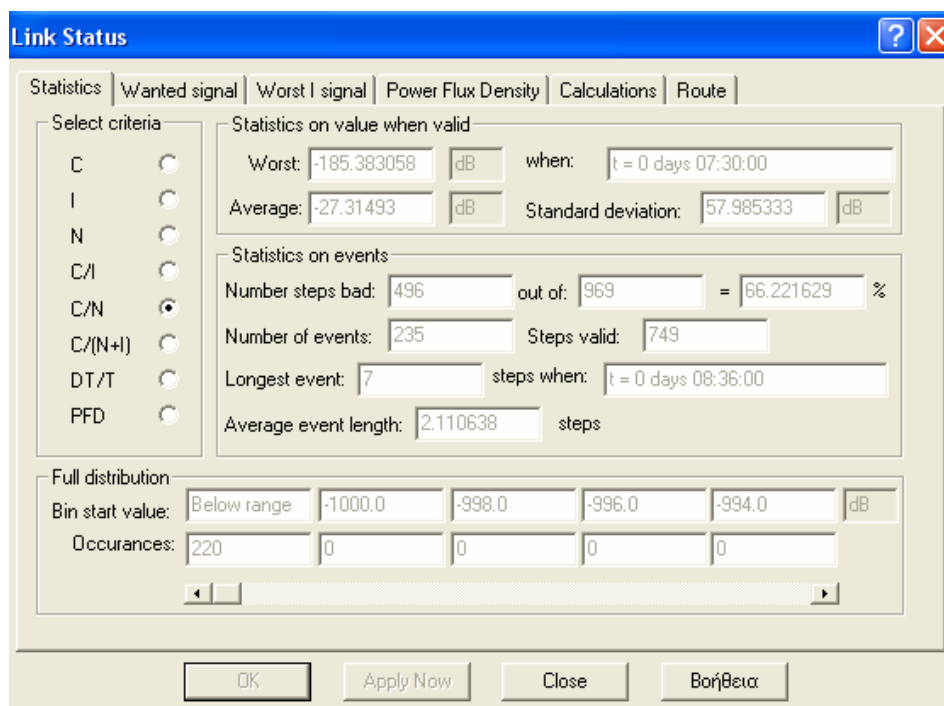
Διάγραμμα 7.51 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.60 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλονίκη (15 km – RAC - 384 kbps)



Διάγραμμα 7.52 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.61 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλονίκη (15 km – RAC - 2000 kbps)



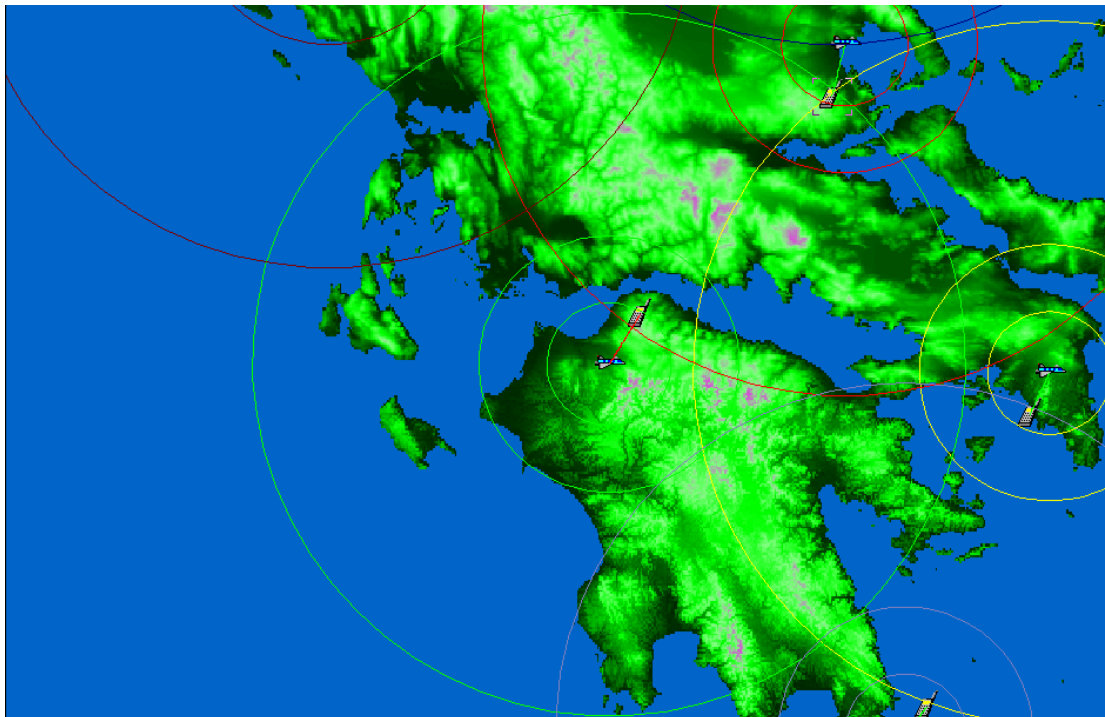
Διάγραμμα 7.53 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

Για ρυθμό μετάδοσης 384 kbps στη UAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι 42.08 dB, το μέσο περιθώριο 31.58 dB ενώ 99.9% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 24.58 dB, μέσο περιθώριο 14.08 dB ενώ 76.84% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι -20 dB, ενώ μόλις 34.4% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

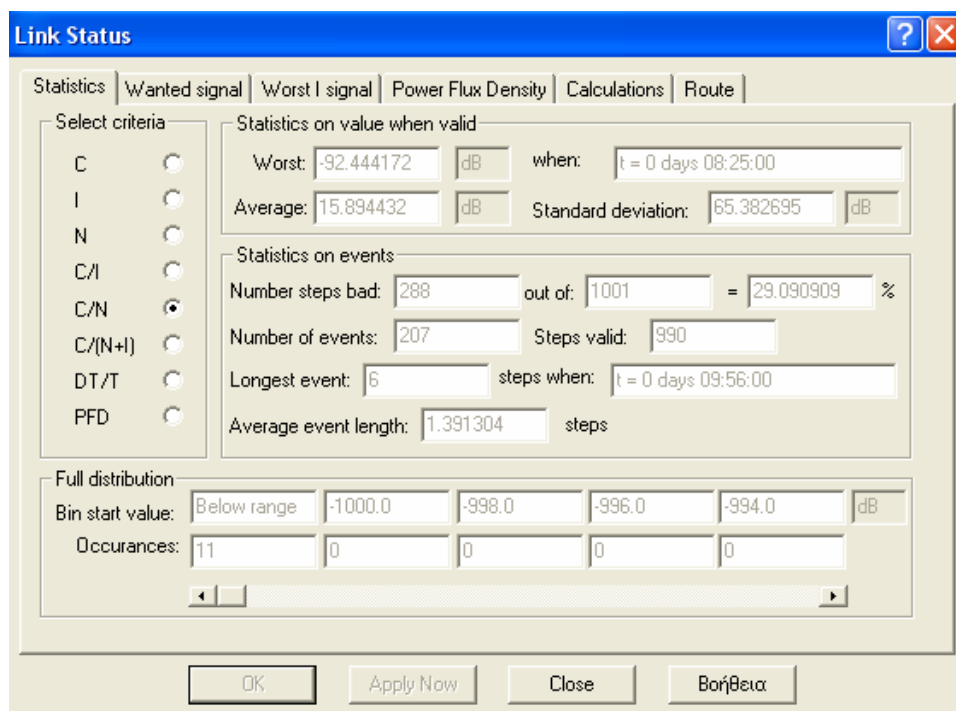
Για ρυθμό μετάδοσης 2000 kbps, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 34.91 dB, μέσο περιθώριο 24.41dB ενώ 99.9% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι 17.41 dB, το μέσο περιθώριο 6.91 dB ενώ 76.37% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Τέλος στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο -27.22 dB, ενώ 33.9% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

Παρατηρούμε πως στην RAC ζώνη τα αποτελέσματα είναι ιδιαίτερα άσχημα, αφού λόγω του χαμηλού ύψους της πλατφόρμας σε συνδυασμό με τη μορφολογία του εδάφους, οι απώλειες περίθλασης είναι πολύ μεγάλες. Αυτό επιβεβαιώνεται απόλυτα αν ληφθεί υπόψη το χαμηλό LOS (48.65%) που υπολογίστηκε για τη συγκεκριμένη ζώνη.

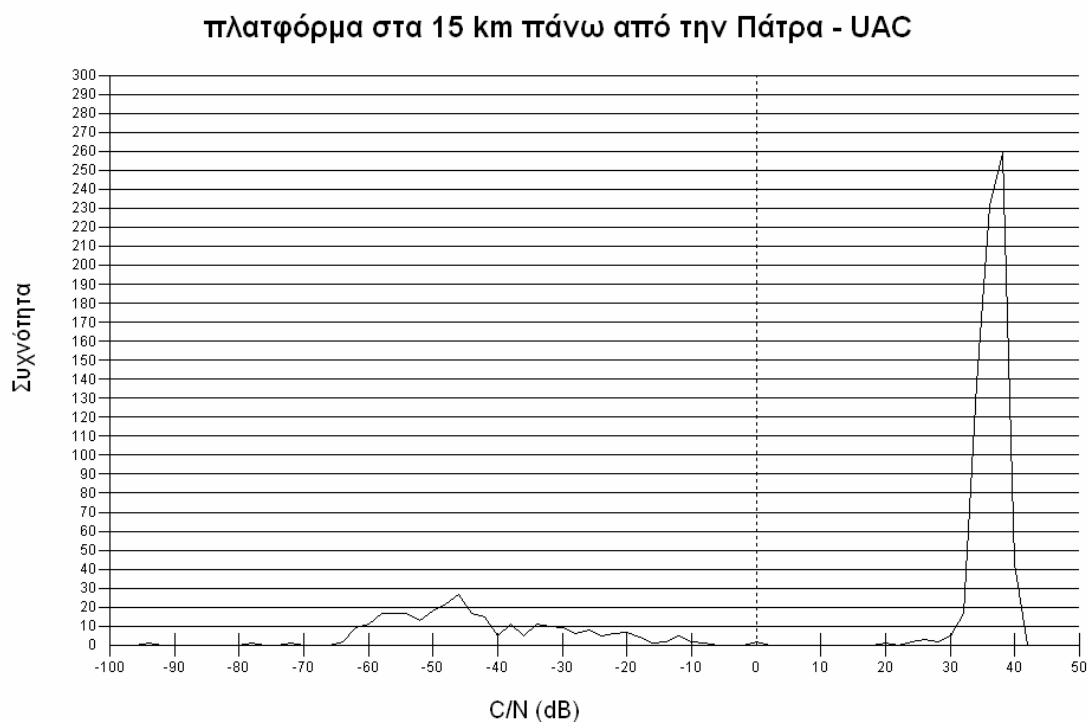
- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από την Πάτρα έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



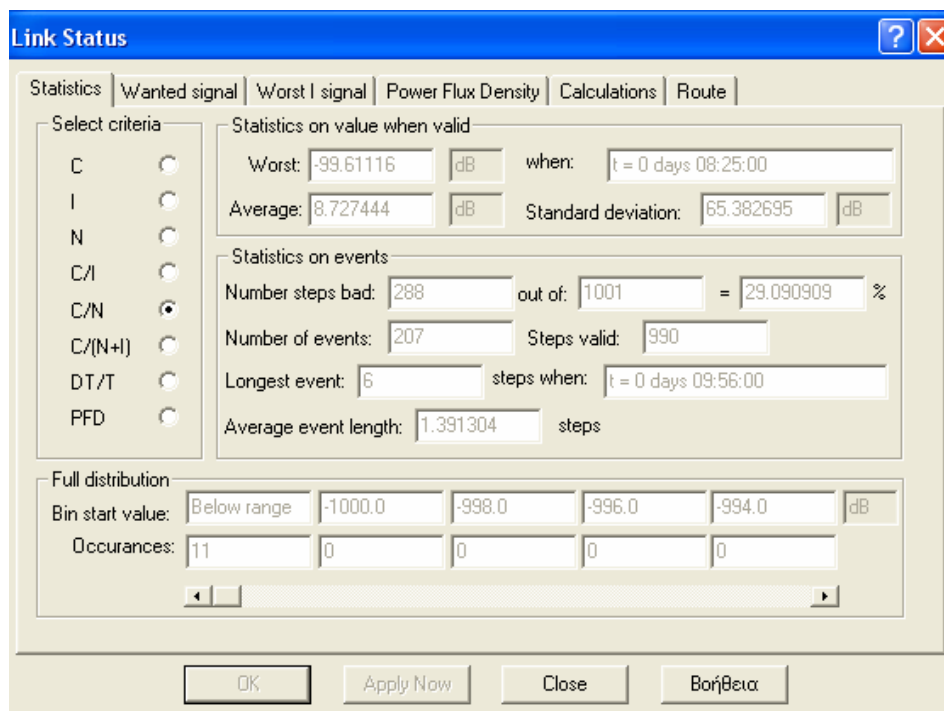
Σχήμα 7.62 Πλατφόρμα στα 15 km πάνω από την Πάτρα



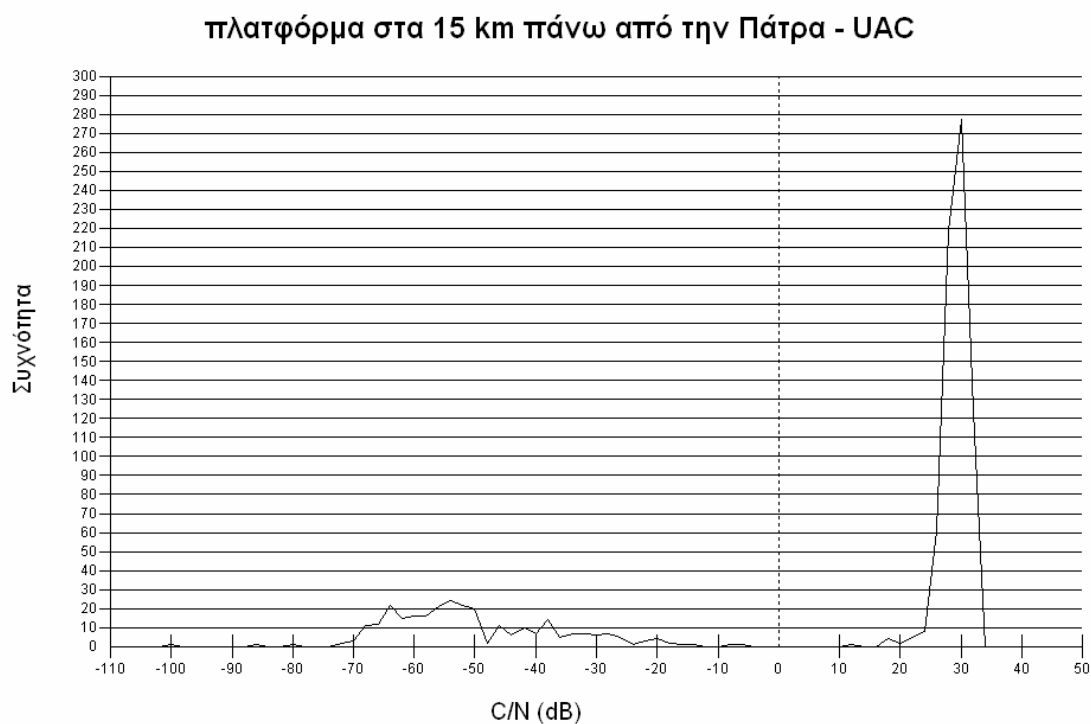
Σχήμα 7.63 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Πάτρα (15 km – UAC - 384 kbps)



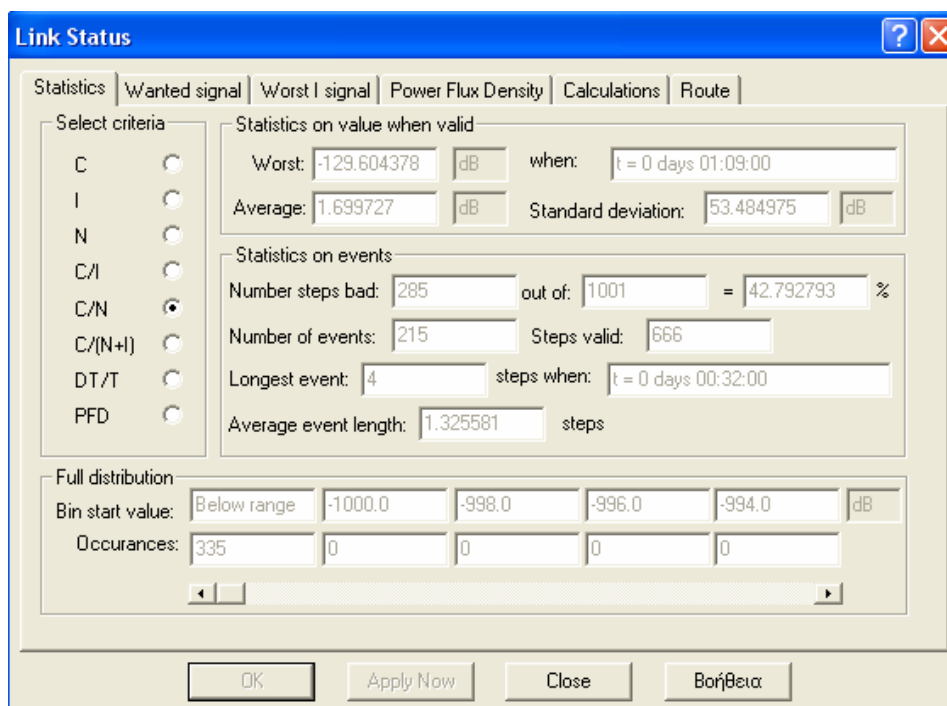
Διάγραμμα 7.54 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



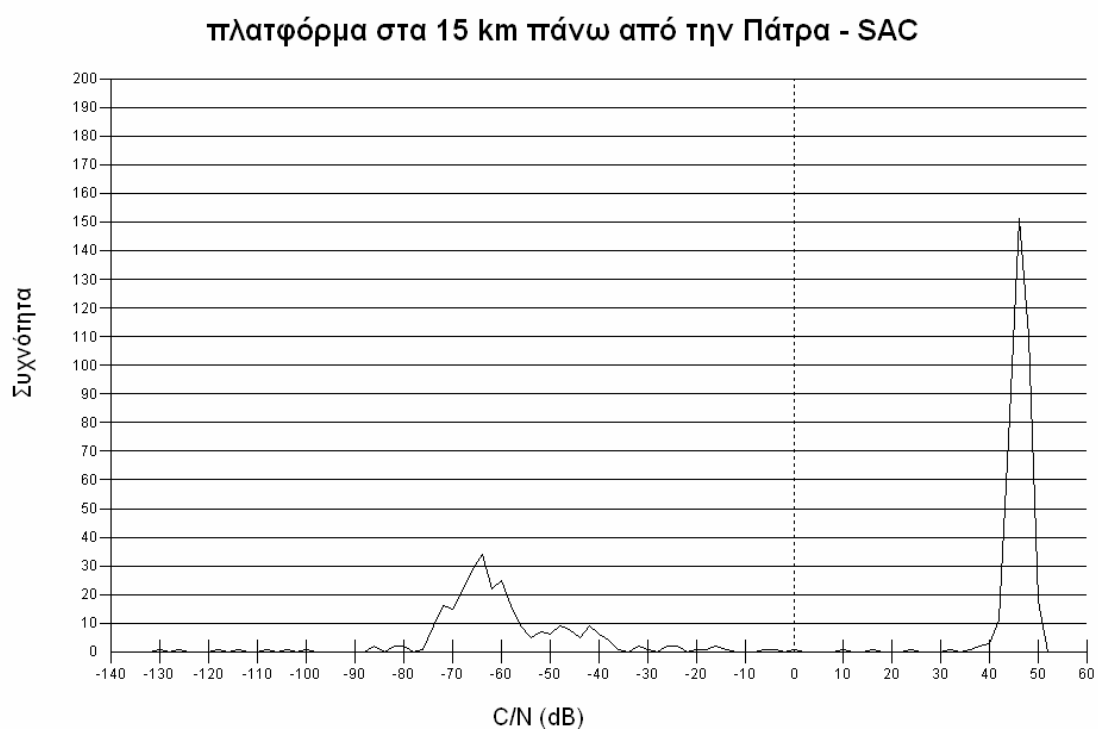
Σχήμα 7.64 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Πάτρα (15 km – UAC -2000 kbps)



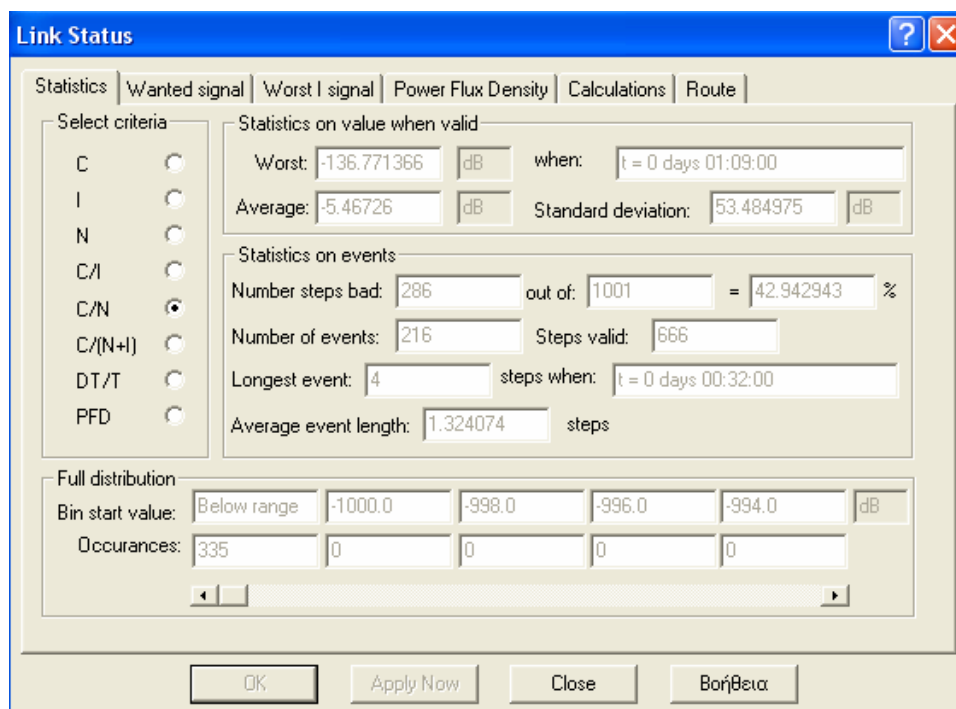
Διάγραμμα 7.55 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



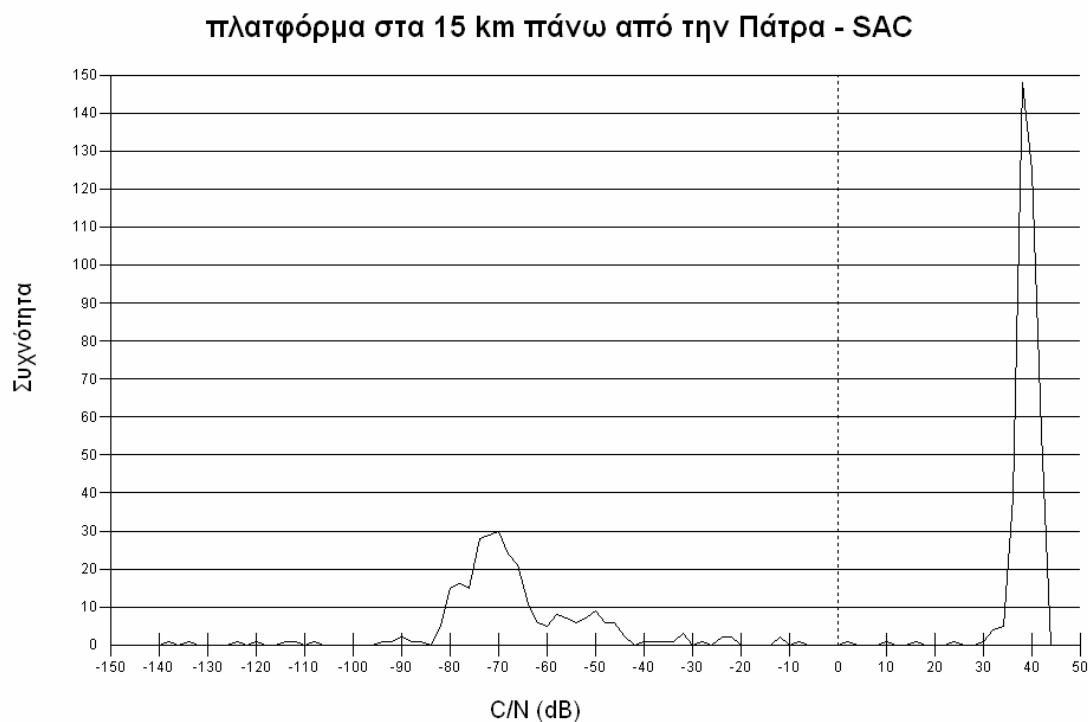
Σχήμα 7.65 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Πάτρα (15 km – SAC - 384 kbps)



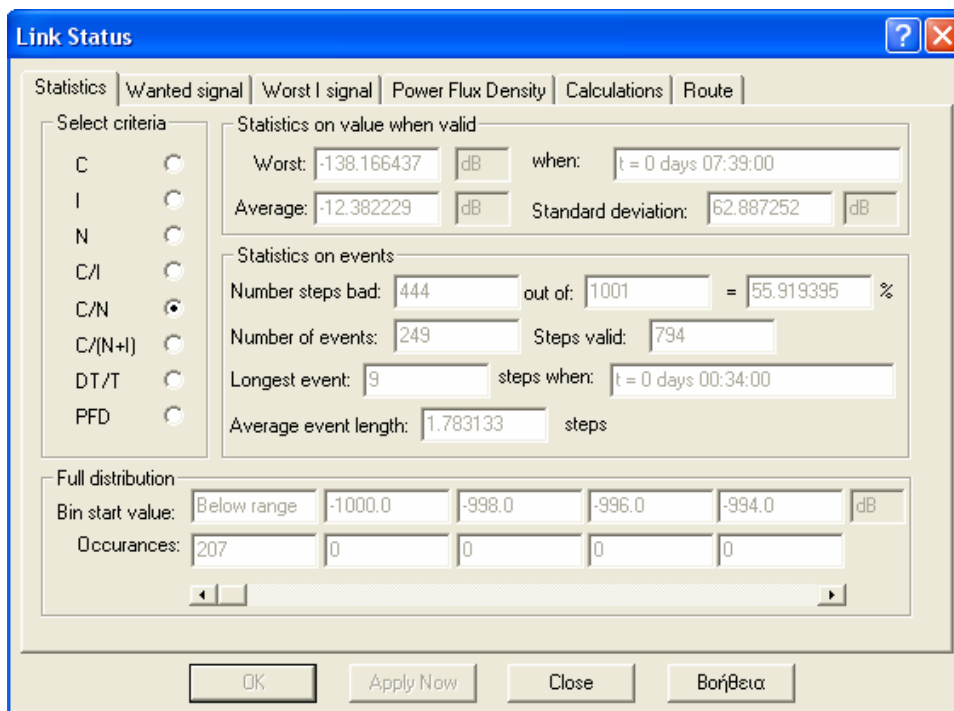
Διάγραμμα 7.56 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.66 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Πάτρα (15 km – SAC - 2000 kbps)



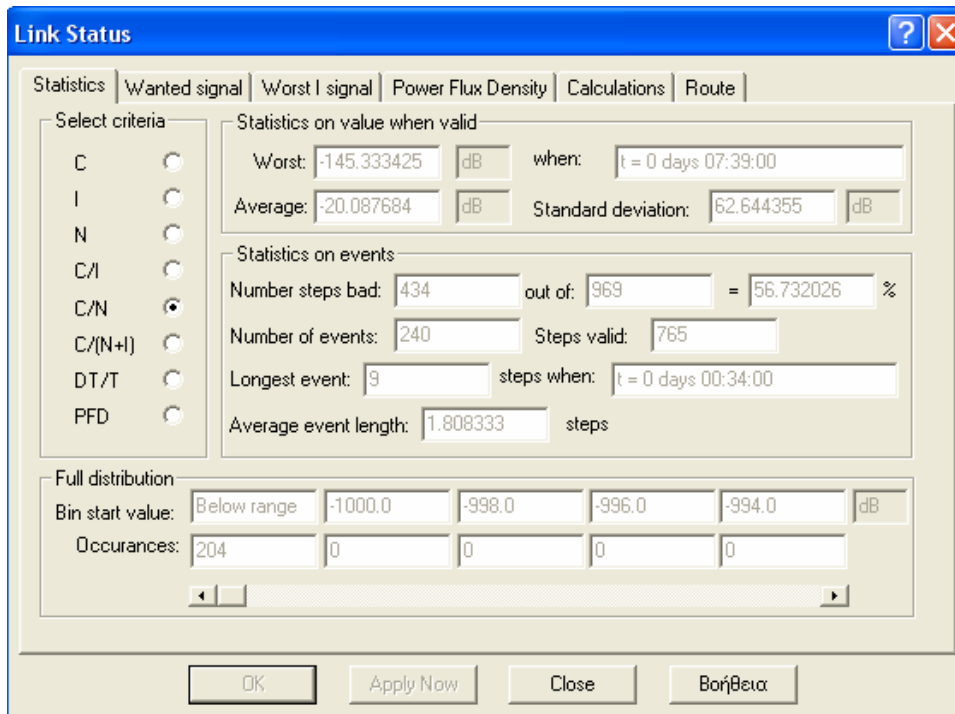
Διάγραμμα 7.57 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



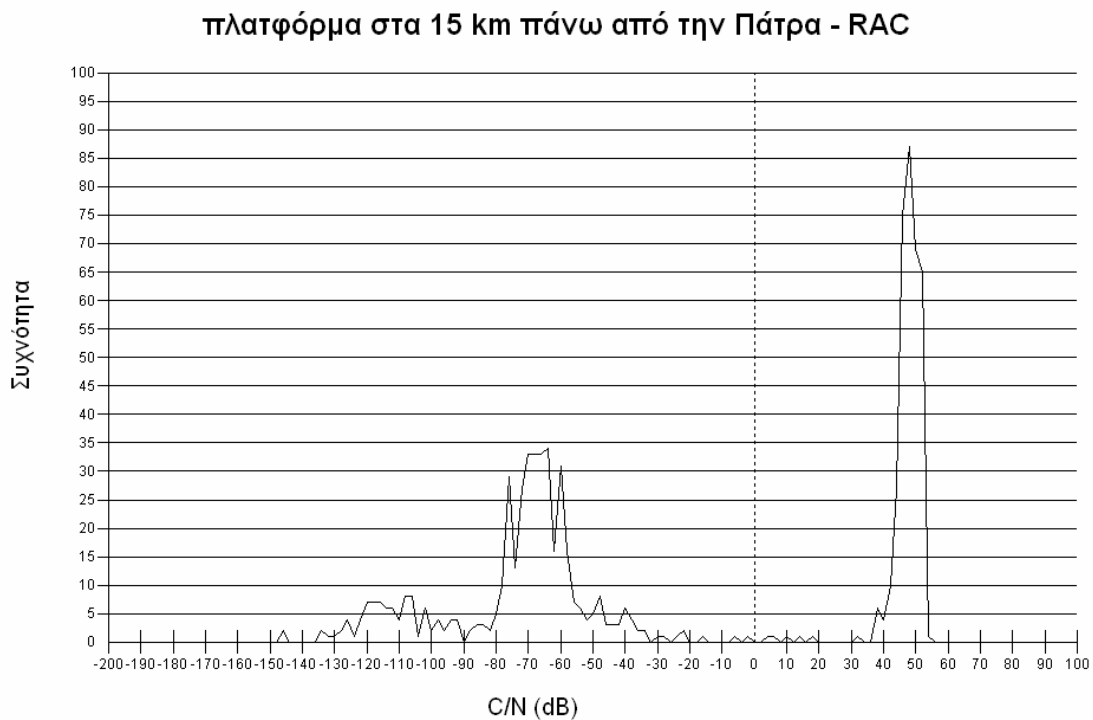
Σχήμα 7.67 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Πάτρα (15 km – RAC - 384 kbps)



Διάγραμμα 7.58 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.68 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Πάτρα (15 km – RAC - 2000 kbps)



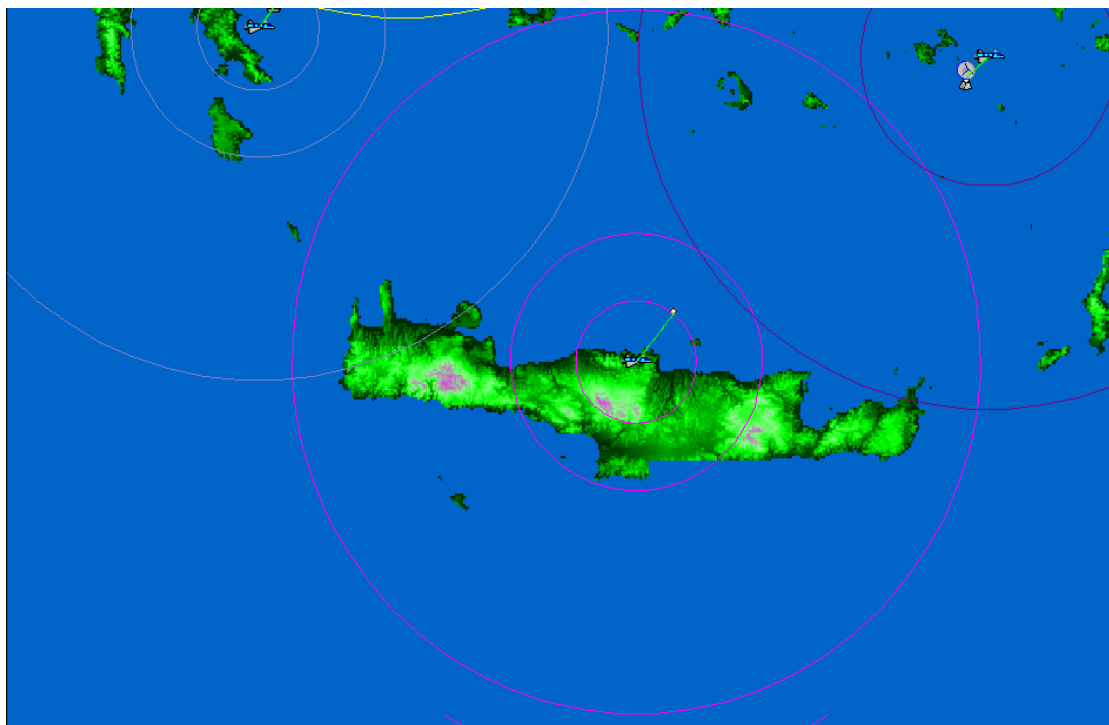
Διάγραμμα 7.59 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

Για ρυθμό μετάδοσης 384 kbps στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 15.89 dB, μέσο περιθώριο 5.49 dB ενώ 70.91% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι 1.7 dB, δηλαδή χαμηλότερος από τον απαιτούμενο, ενώ 57.21% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από τα 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο πολύ χαμηλότερο του ζητούμενου, -12.38 dB, ενώ μόλις 44% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

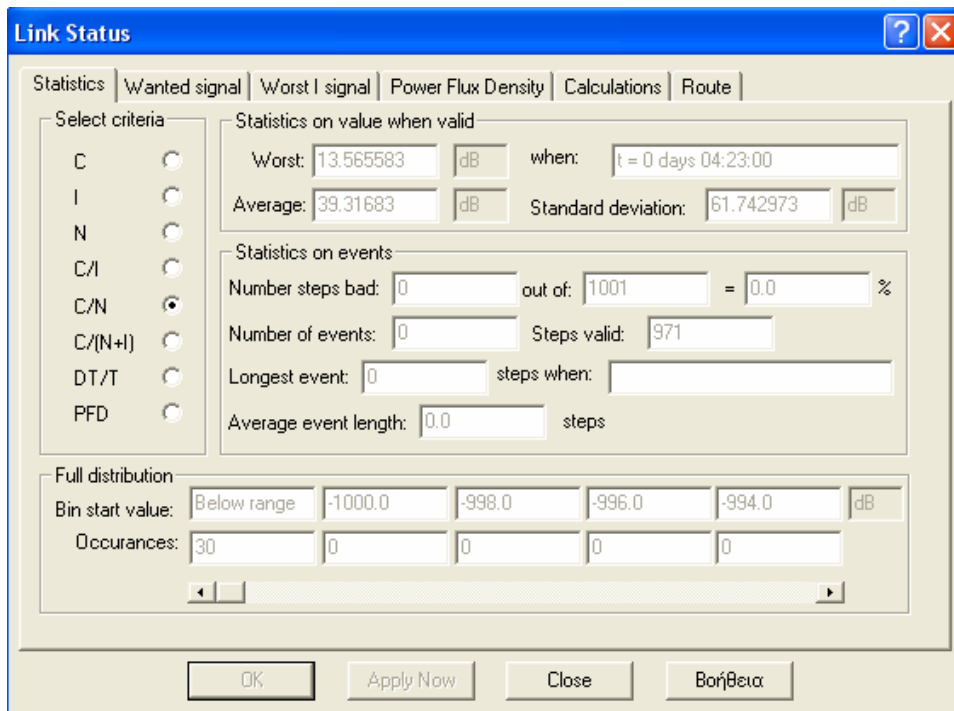
Για ρυθμό μετάδοσης 2000 kbps, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 8.73 dB, ενώ 70.9% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι -5.47 dB, ενώ μόνο 57.06% των μετρήσεων είναι μεγαλύτερες από 10.5 dB. Τέλος, στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο -19.55 dB, ενώ 43.83% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

Τα αποτελέσματα κρίνονται ιδιαίτερα άσχημα σε όλες τις ζώνες κάλυψης. Αυτά οφείλονται στις απώλειες και συγκεκριμένα, κυρίως στις απώλειες περίθλασης που είναι πολύ μεγάλες, λόγω του χαμηλού ύψους της πλατφόρμας σε συνδυασμό με τη μορφολογία του εδάφους. Τα παραπάνω επιβεβαιώνονται απόλυτα αν ληφθεί υπόψη το χαμηλό LOS. Συγκεκριμένα στη UAC ζώνη μετρήθηκε 70.33%, στην SAC ζώνη 71.43% ενώ στην RAC ζώνη 55.64% LOS.

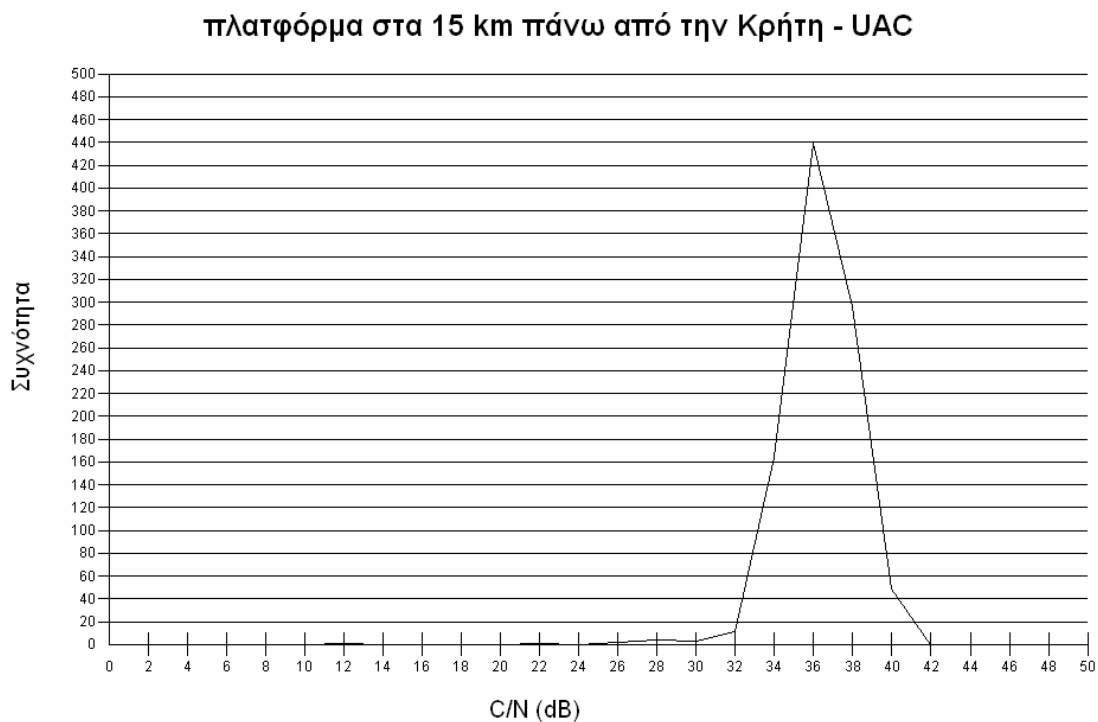
- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από το Ηράκλειο έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



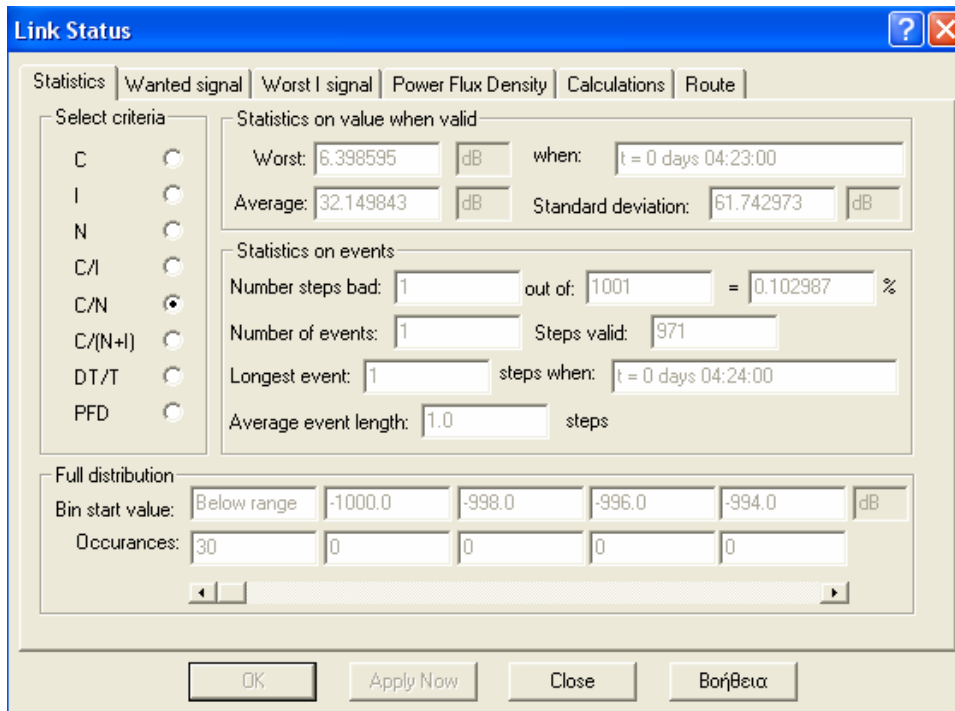
Σχήμα 7.69 Πλατφόρμα στα 15 km πάνω από το Ηράκλειο



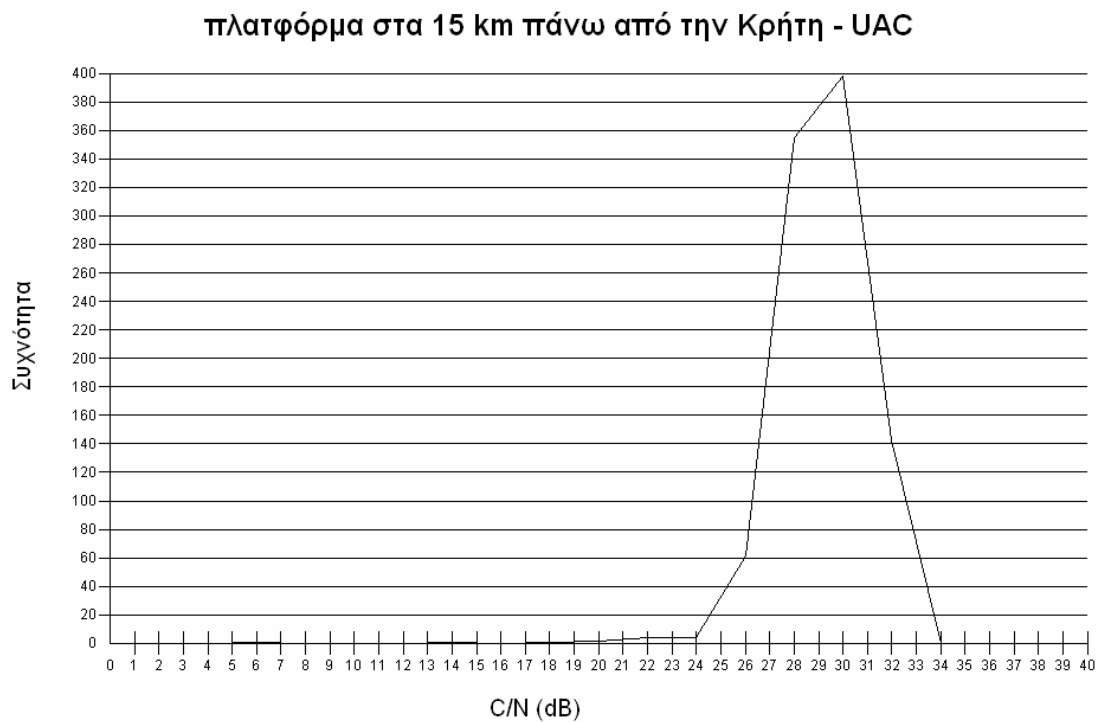
Σχήμα 7.70 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Ηράκλειο (15 km – UAC - 384 kbps)



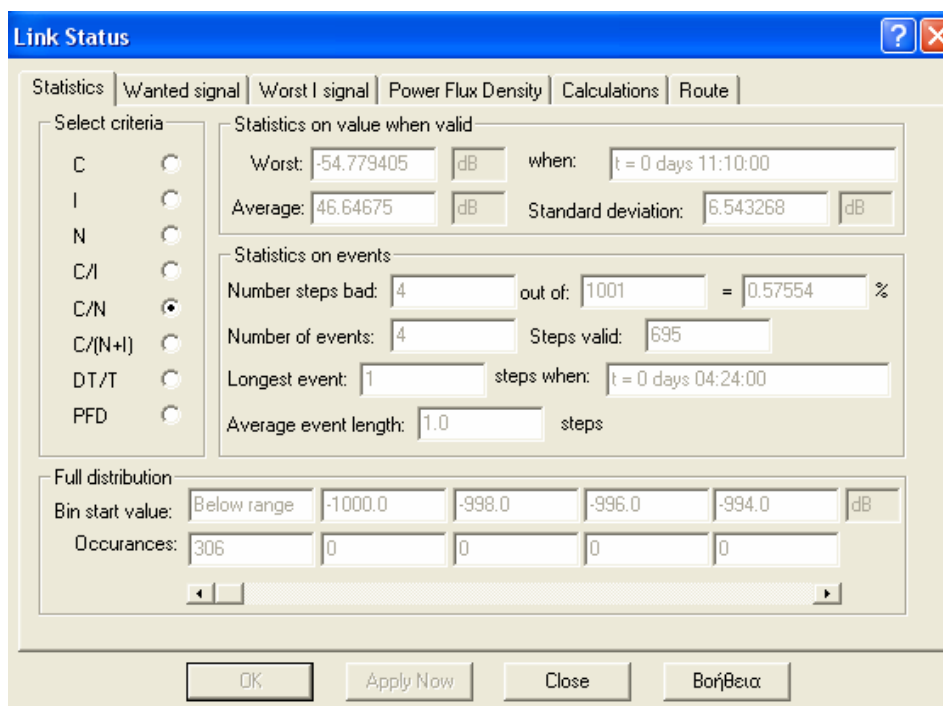
Διάγραμμα 7.60 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.71 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Ηράκλειο (15 km – UAC -2000 kbps)

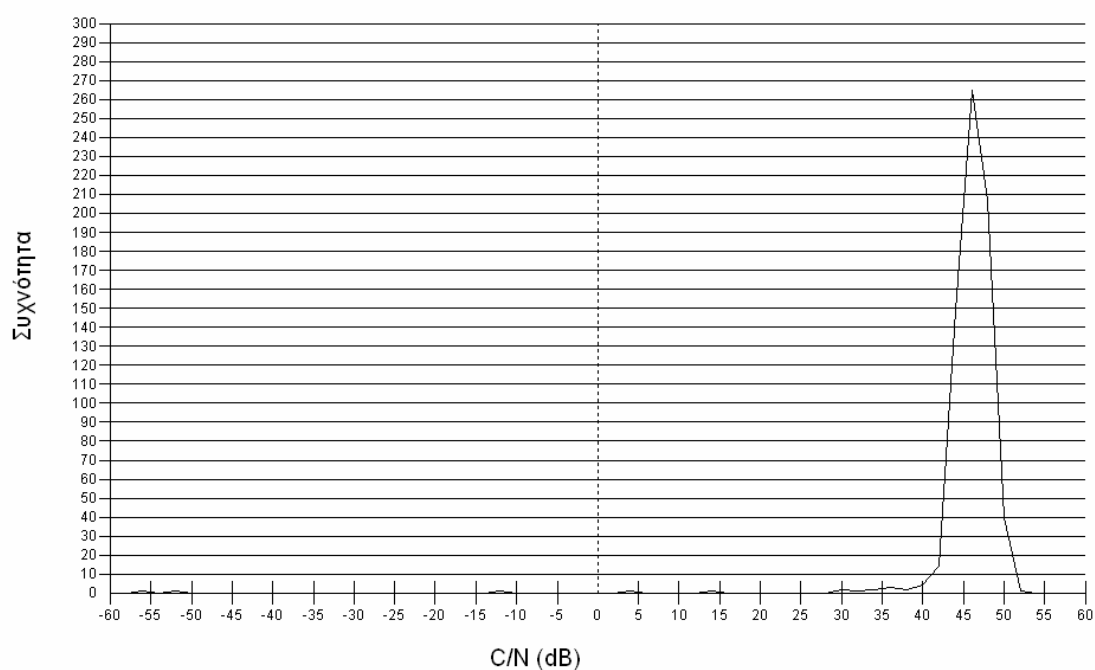


Διάγραμμα 7.61 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

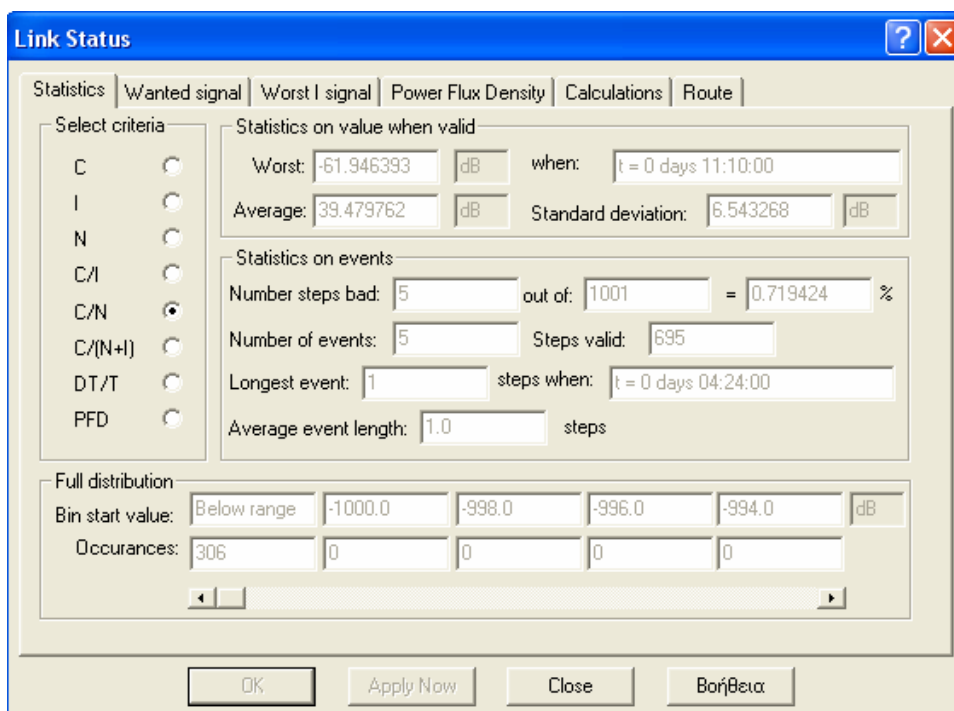


Σχήμα 7.72 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Ηράκλειο (15 km – SAC - 384 kbps)

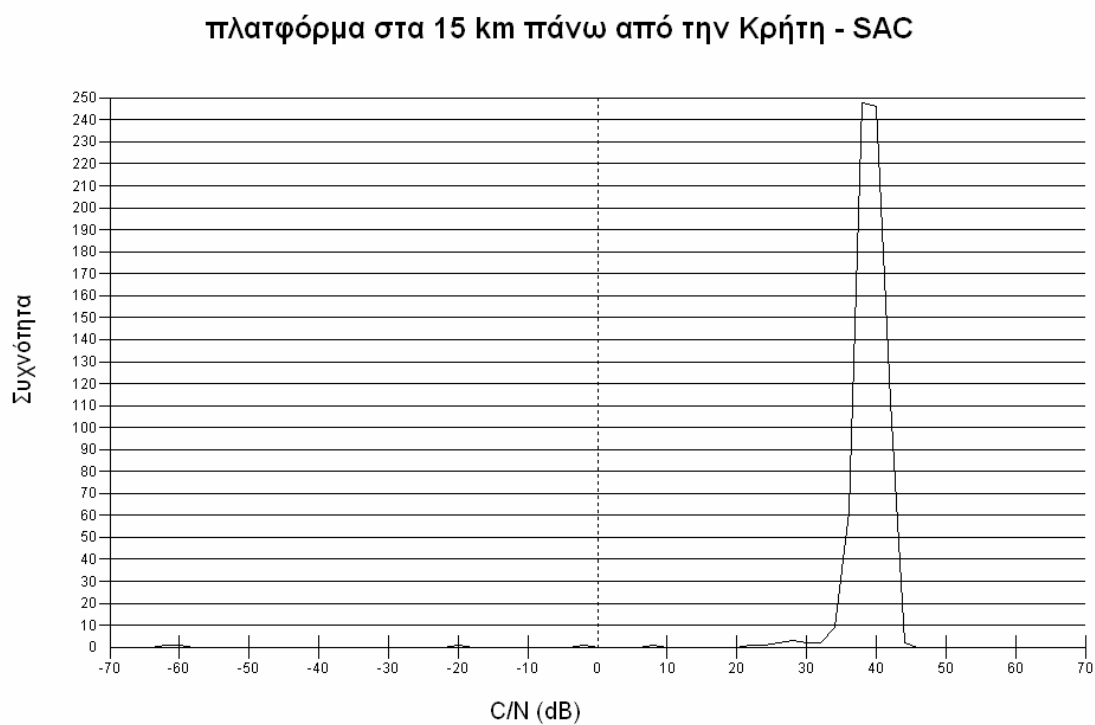
πλατφόρμα στα 15 km πάνω από την Κρήτη - SAC



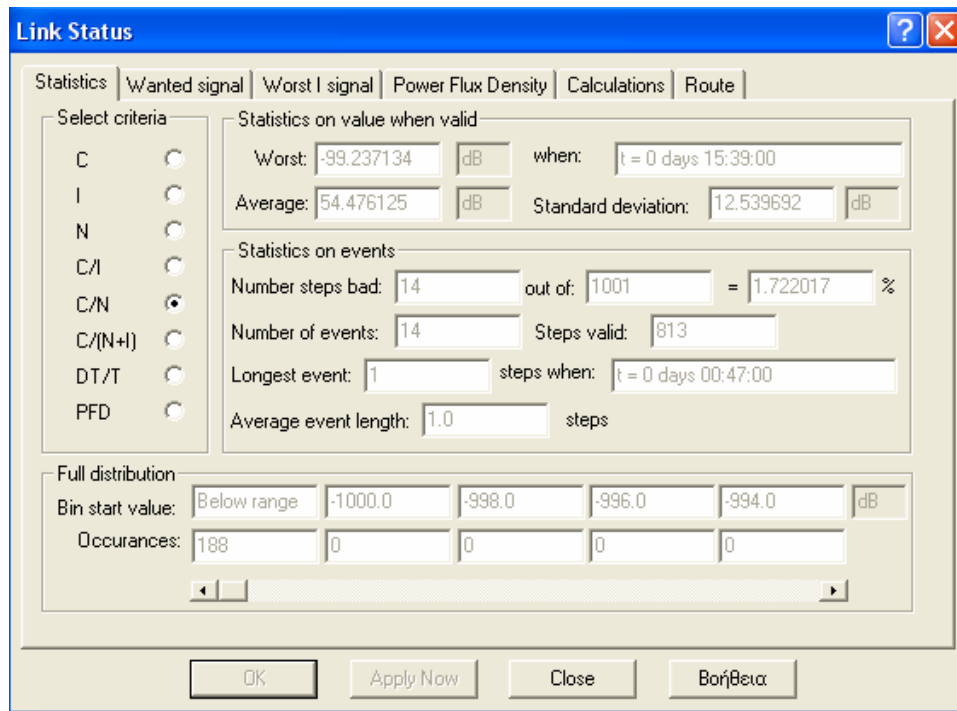
Διάγραμμα 7.62 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



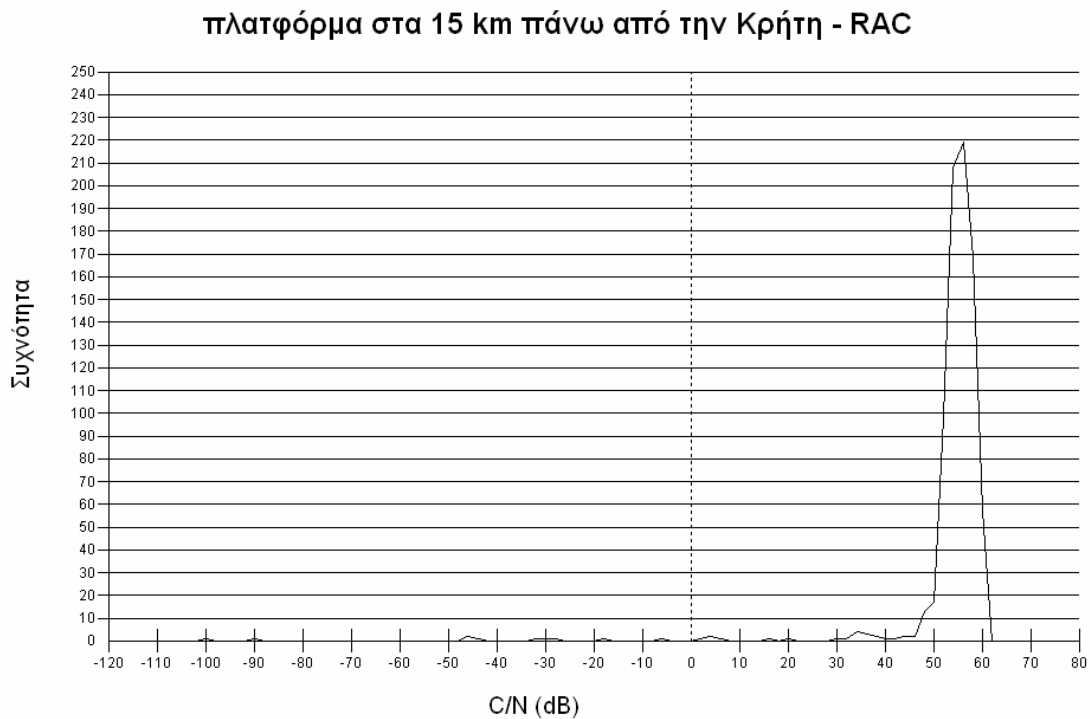
Σχήμα 7.73 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Ηράκλειο (15 km – SAC - 2000 kbps)



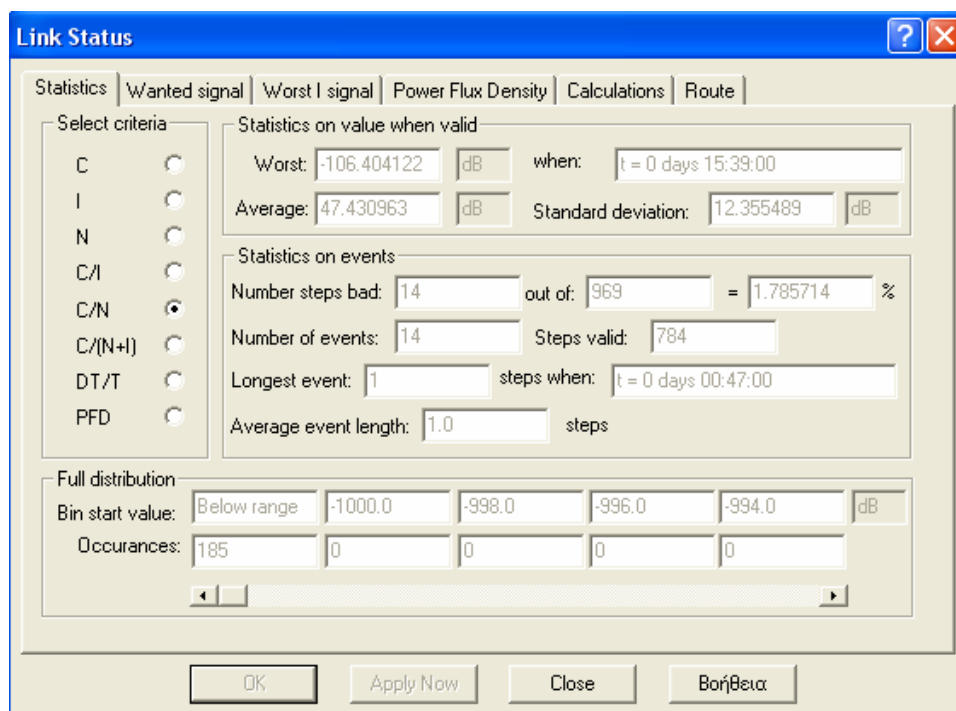
Διάγραμμα 7.63 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθροβικού λόγου



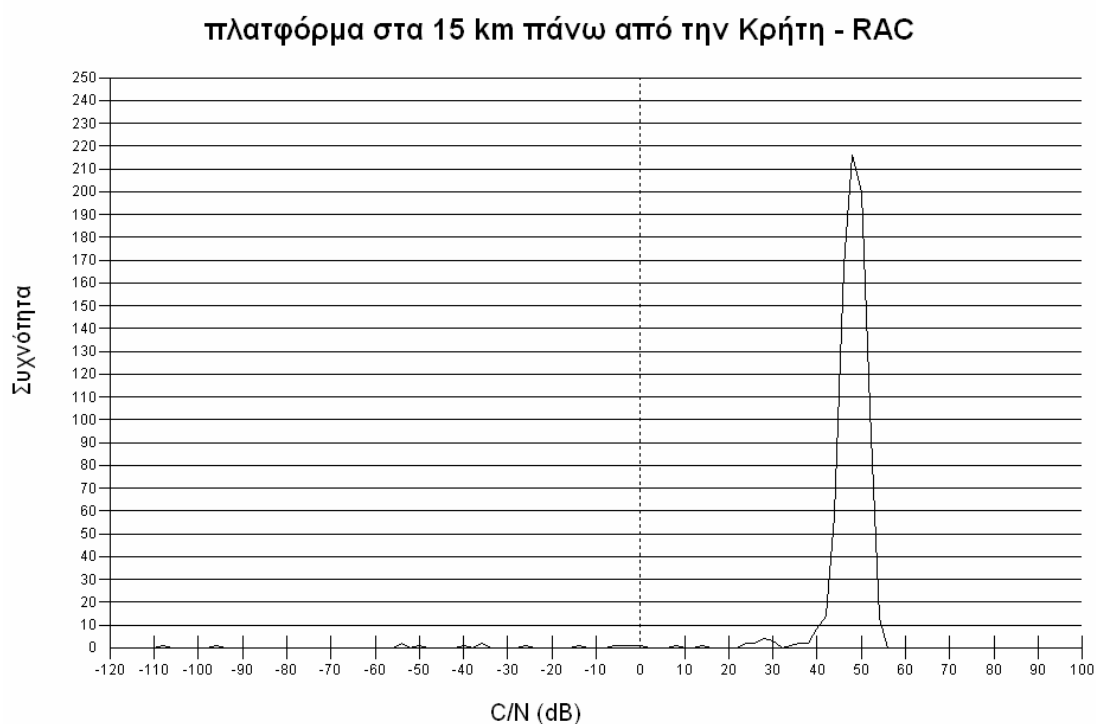
Σχήμα 7.74 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Ηράκλειο (15 km – RAC - 384 kbps)



Διάγραμμα 7.64 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.75 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Ηράκλειο (15 km – RAC - 2000 kbps)



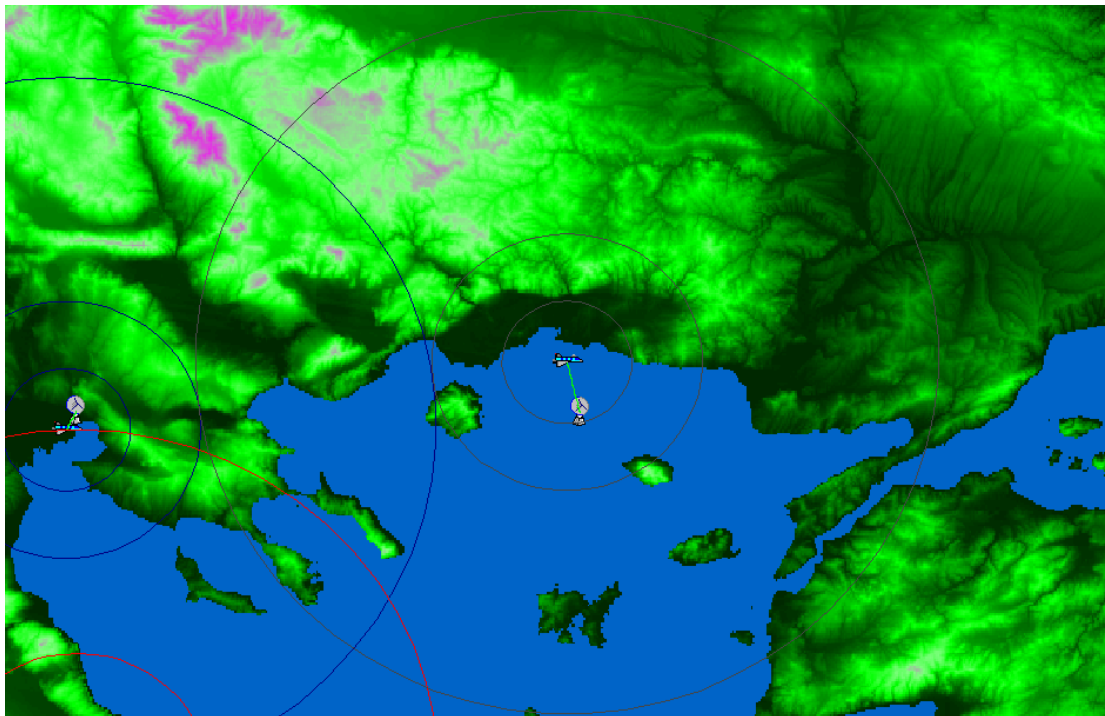
Διάγραμμα 7.65 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

Παρατηρούμε πως και στις τρεις ζώνες της περιοχής κάλυψης ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος που υπολογίσαμε είναι μεγαλύτερος του απαιτούμενου σηματοθορυβικού λόγου των 10.5 dB για μετάδοση τόσο δεδομένων όσο και audio και video.

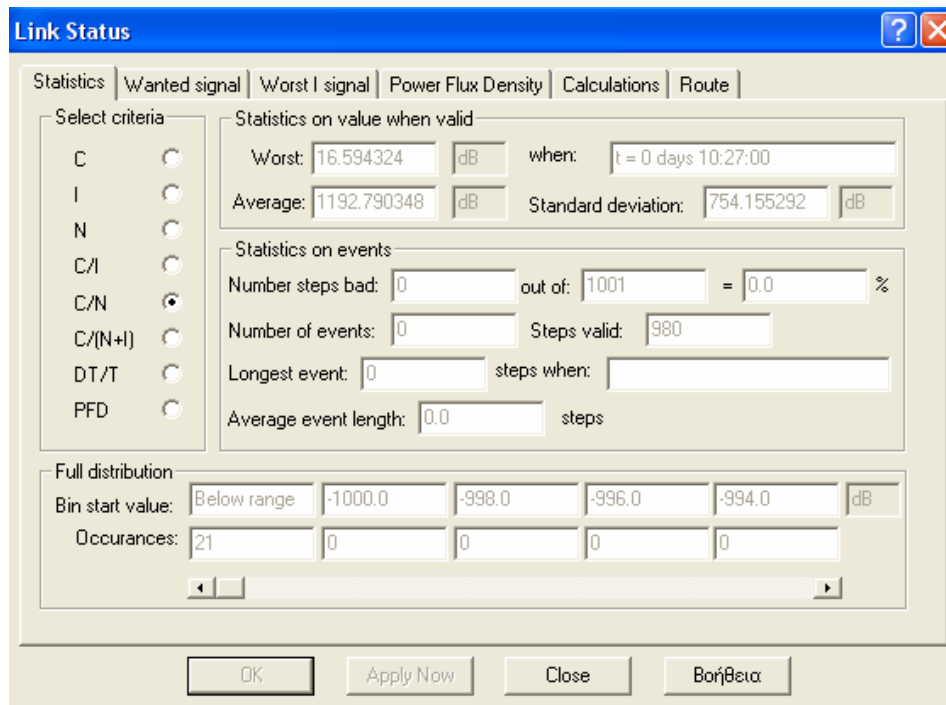
Συγκεκριμένα για ρυθμό μετάδοσης 384 kbps, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 39.32 dB, μέσο περιθώριο 28.82 dB ενώ 100% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι 46.65 dB, το μέσο περιθώριο 36.15 dB, ενώ 99.42% των μετρήσεων είναι πάνω από τα 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 54.48 dB, μέσο περιθώριο 43.98 dB ενώ 98.28% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

Για ρυθμό μετάδοσης 2000 kbps, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 32.15 dB, μέσο περιθώριο 21.65 dB ενώ 99.9% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι 39.48 dB, το μέσο περιθώριο 28.98 dB ενώ 99.28% των μετρήσεων είναι πάνω από 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 47.31 dB, μέσο περιθώριο 36.81 dB ενώ έχουμε 98.15% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από την ανατολική Μακεδονία έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

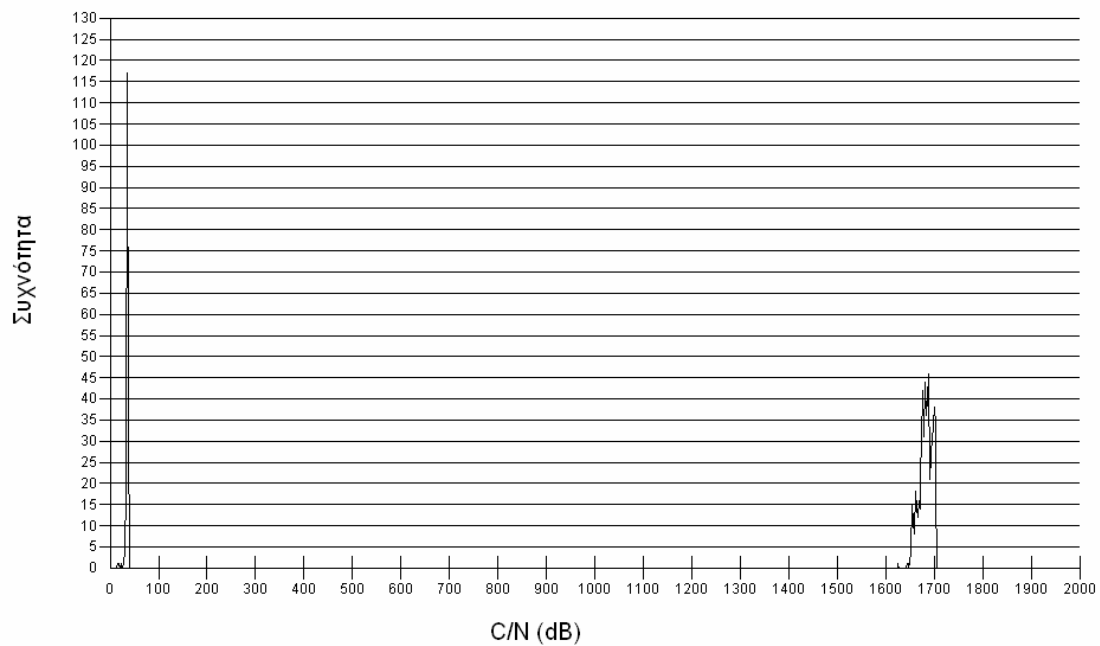


Σχήμα 7.76 Πλατφόρμα στα 15 km πάνω από την Ανατολική Μακεδονία



Σχήμα 7.77 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Ανατολική Μακεδονία (15 km – UAC - 384 kbps)

πλατφόρμα στα 15 km πάνω από την Ανατ. Μακεδονία - UAC



Διάγραμμα 7.66 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

Link Status [?] [X]

Statistics | Wanted signal | Worst I signal | Power Flux Density | Calculations | Route

Select criteria

C
 I
 N
 C/I
 C/N
 C/(N+I)
 DT/T
 PFD

Statistics on value when valid

Worst: 9.427336 dB when: t = 0 days 10:27:00
 Average: 1185.62336 dB Standard deviation: 754.155292 dB

Statistics on events

Number steps bad: 1 out of: 1001 = 0.102041 %
 Number of events: 1 Steps valid: 980
 Longest event: 1 steps when: t = 0 days 10:28:00
 Average event length: 1.0 steps

Full distribution

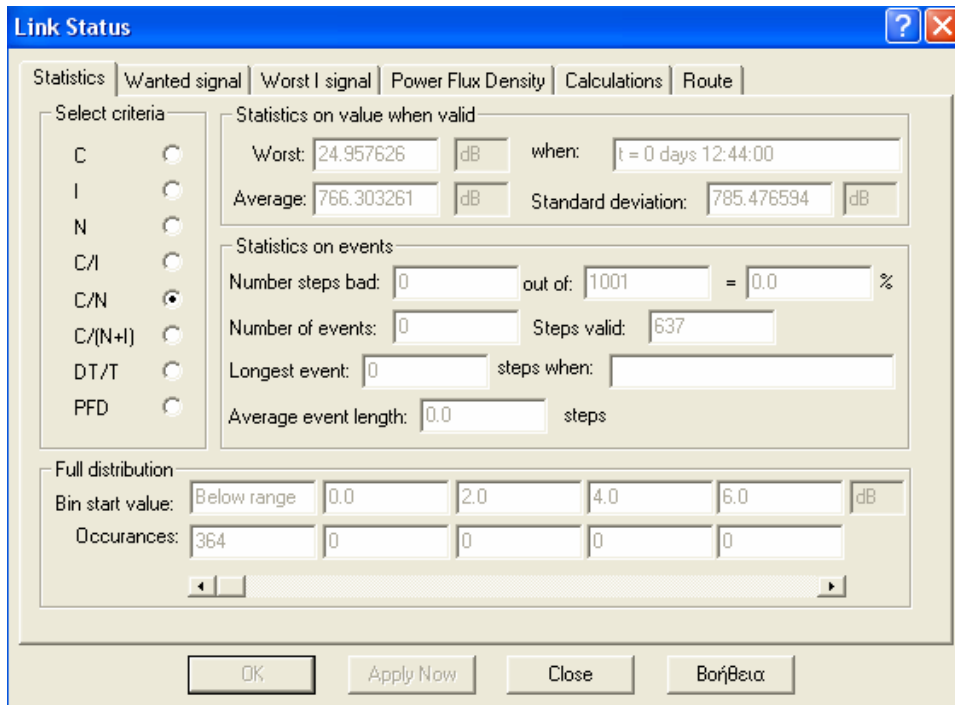
Bin start value: Below range -1000.0 -998.0 -996.0 -994.0 dB
 Occurrences: 21 0 0 0 0

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 7.78 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Ανατολική Μακεδονία (15 km – UAC -2000 kbps)

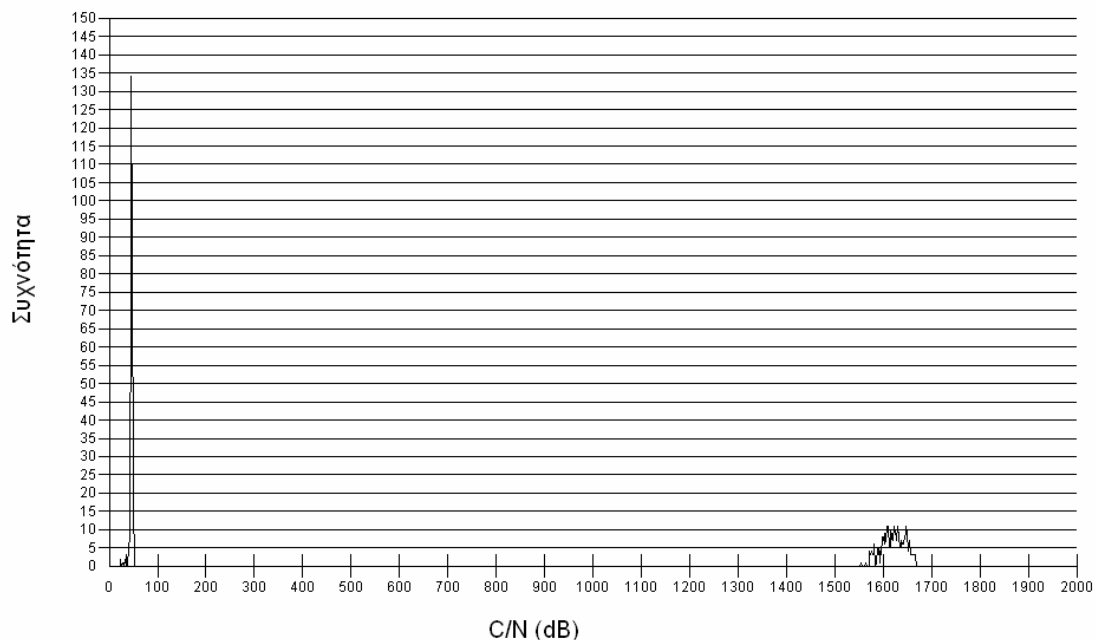


Διάγραμμα 7.67 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

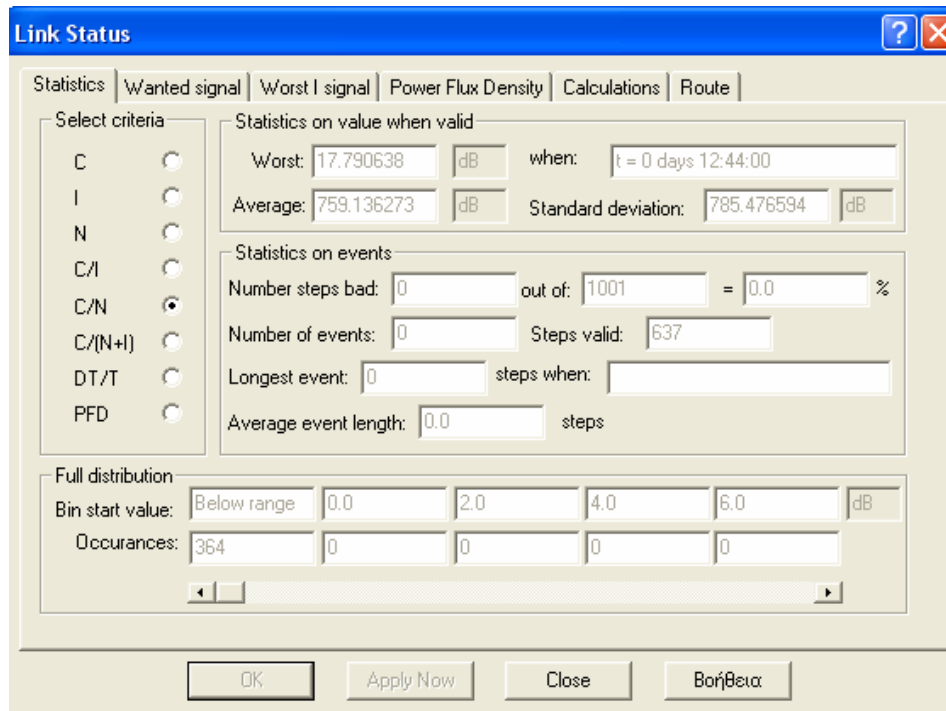


Σχήμα 7.79 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Ανατολική Μακεδονία (15 km – SAC - 384 kbps)

πλατφόρμα στα 15 km πάνω από την Ανατ. Μακεδονία - SAC

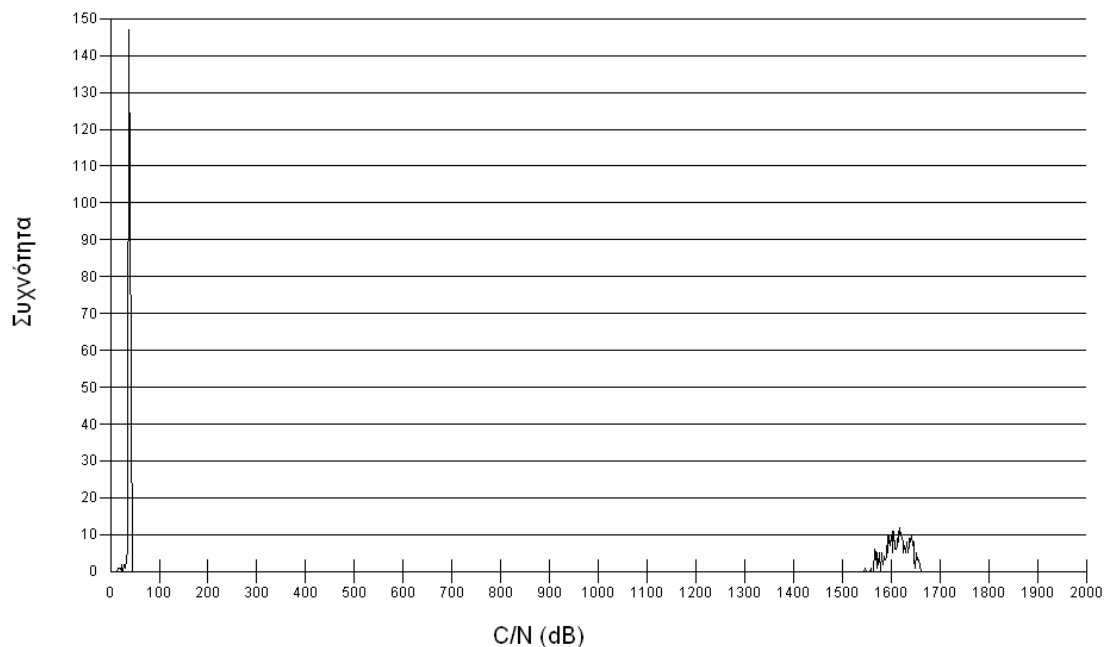


Διάγραμμα 7.68 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

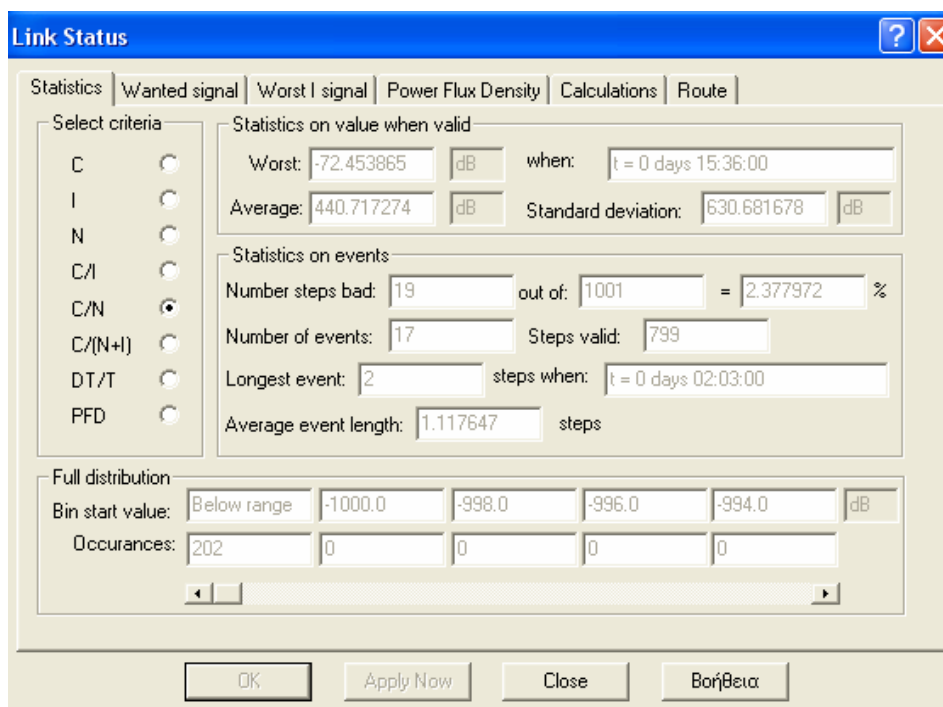


Σχήμα 7.80 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Ανατολική Μακεδονία (15 km – SAC - 2000 kbps)

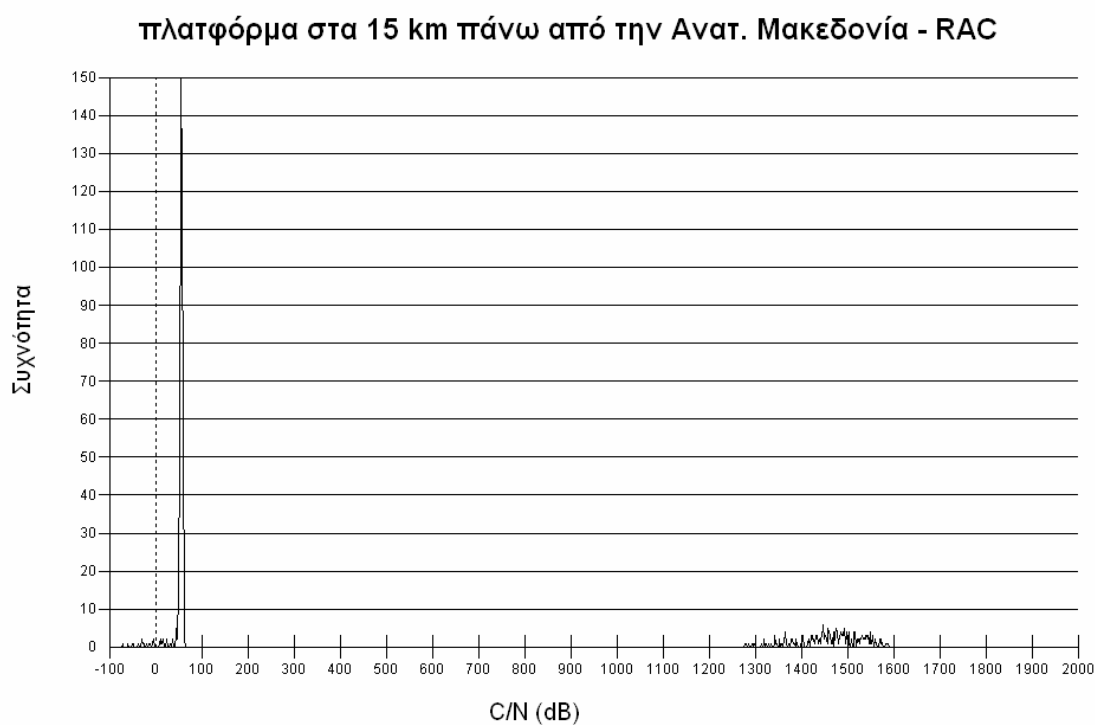
πλατφόρμα στα 15 km πάνω από την Ανατ. Μακεδονία - SAC



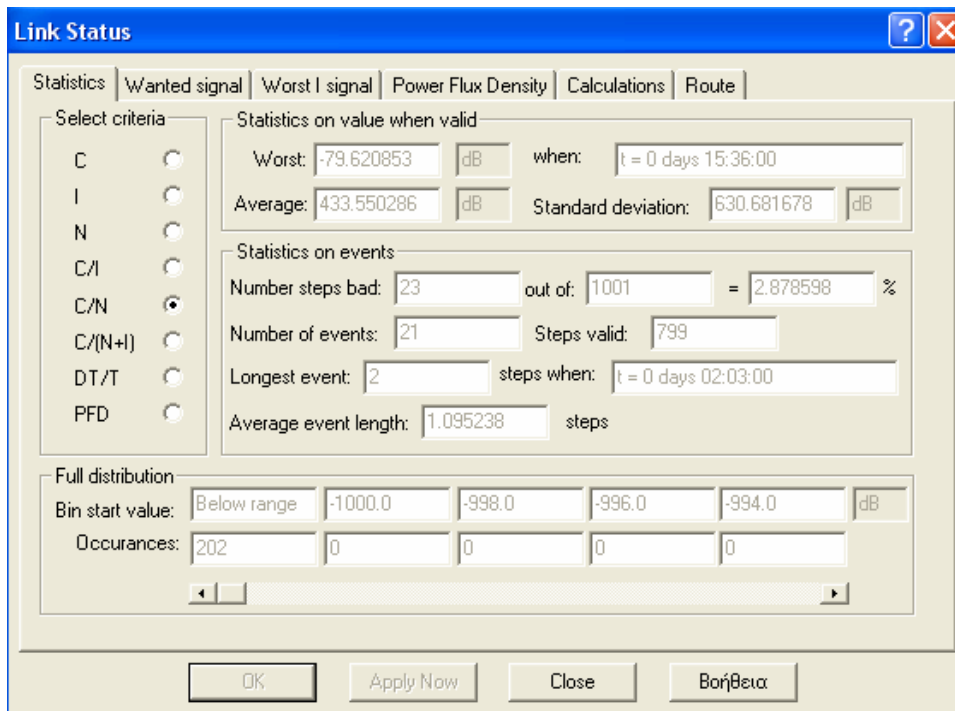
Διάγραμμα 7.69 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



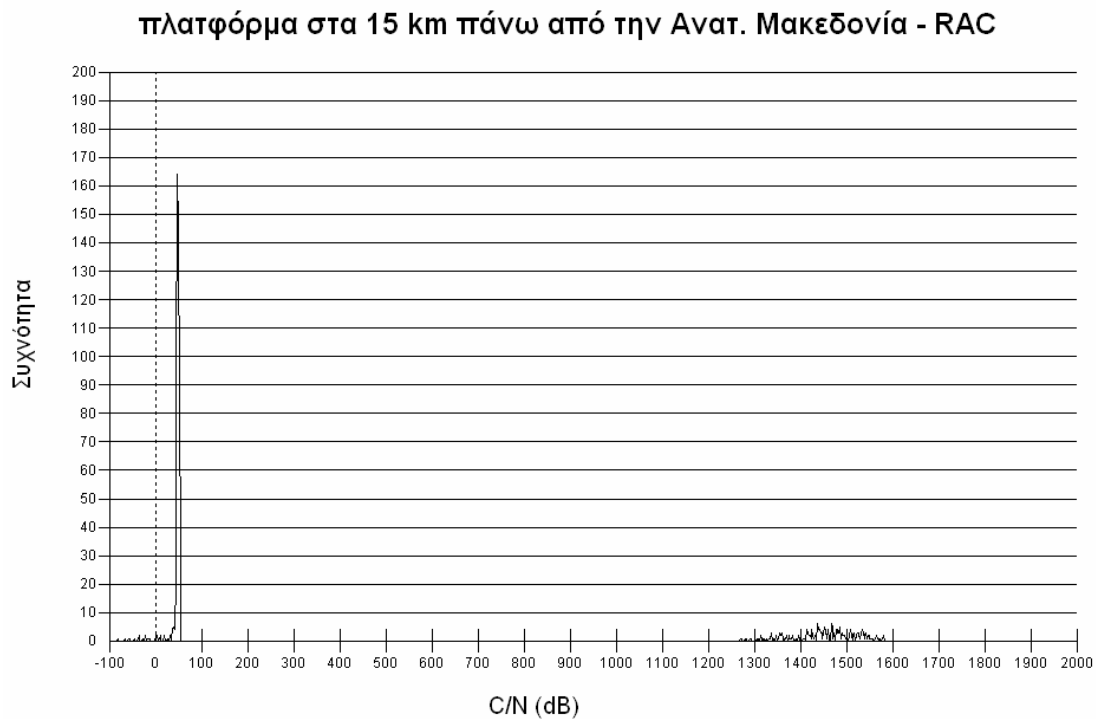
Σχήμα 7.81 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Ανατολική Μακεδονία (15 km – RAC - 384 kbps)



Διάγραμμα 7.70 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.82 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Ανατολική Μακεδονία (15 km – RAC - 2000 kbps)



Διάγραμμα 7.71 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

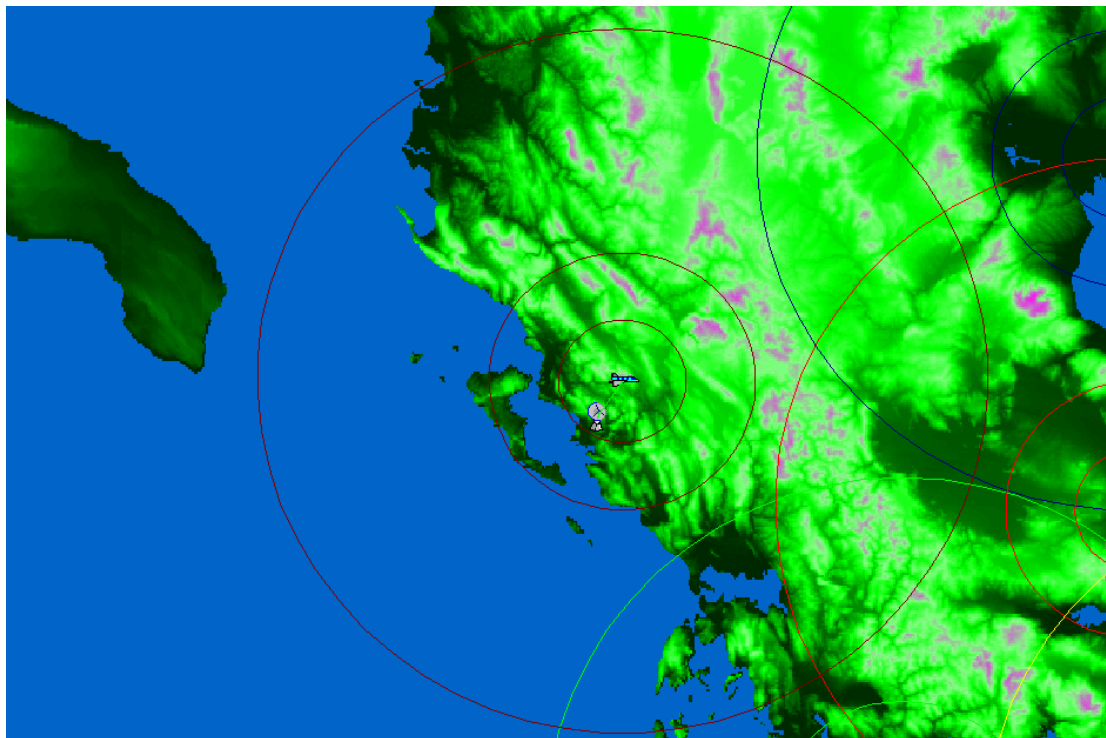
Παρατηρούμε πως και στις τρεις ζώνες της περιοχής κάλυψης ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος που υπολογίσαμε είναι πολύ μεγαλύτερος του απαιτούμενου σηματοθορυβικού λόγου των 10.5 dB για μετάδοση τόσο δεδομένων όσο και audio και video.

Συγκεκριμένα στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 1192.79 dB, μέσο περιθώριο 1182.29 dB ενώ 100% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι 766.3 dB, το μέσο περιθώριο 755.8 dB ενώ έχουμε 100% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 440.72 dB, μέσο περιθώριο 430.22 dB ενώ 97.6% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

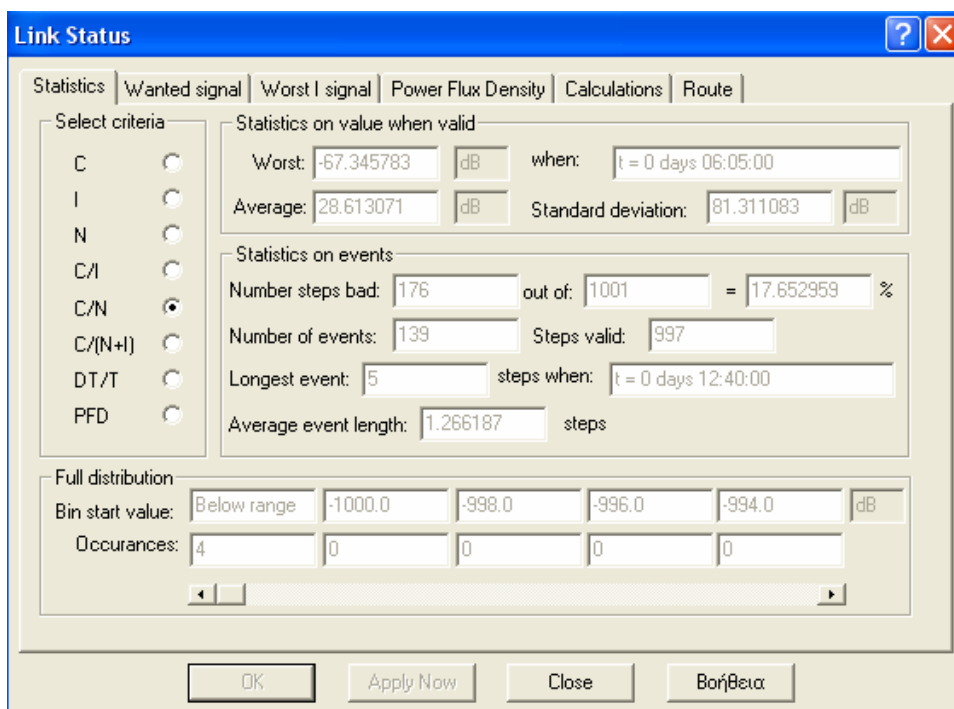
Για ρυθμό μετάδοσης 2000 kbps, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 1185.6 dB, μέσο περιθώριο 1175.1 dB ενώ 99.9% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από τα 10.5 dB. Στην SAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι 759.14 dB, το μέσο περιθώριο 748.64 dB ενώ 100% των μετρήσεων είναι μεγαλύτερες από 10.5 dB. Στην RAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι 433.55 dB, το μέσο περιθώριο 423.05 dB ενώ έχουμε 97.12% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB

Σε όλες τις ζώνες κάλυψης ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι ιδιαίτερα μεγάλος, δημιουργώντας ένα πολύ ικανοποιητικό μέσο περιθώριο και καθιστώντας ιδιαίτερα επιτυχημένη επίδοση των ζεύξεων. Κρίνοντας όμως μόνο από το μέσο σηματοθορυβικό λόγο, εξάγουμε υπεραισιόδοξα συμπεράσματα για τη λειτουργία του συστήματος αφού η ύπαρξη κάποιων πολύ υψηλών μετρήσεων, εκτοξεύει σε πολύ υψηλά επίπεδα και το μέσο σηματοθορυβικό λόγο ενώ η πλειονότητα των μετρήσεων κυμαίνεται σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα όπως απεικονίζεται και στα παραπάνω διαγράμματα. Οι επιδόσεις των ζεύξεων όμως στην Ανατολική Μακεδονία εξακολουθούν να κρίνονται ιδιαίτερα ικανοποιητικές, όπως φαίνεται και από τα ποσοστά των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB που παραθέσαμε.

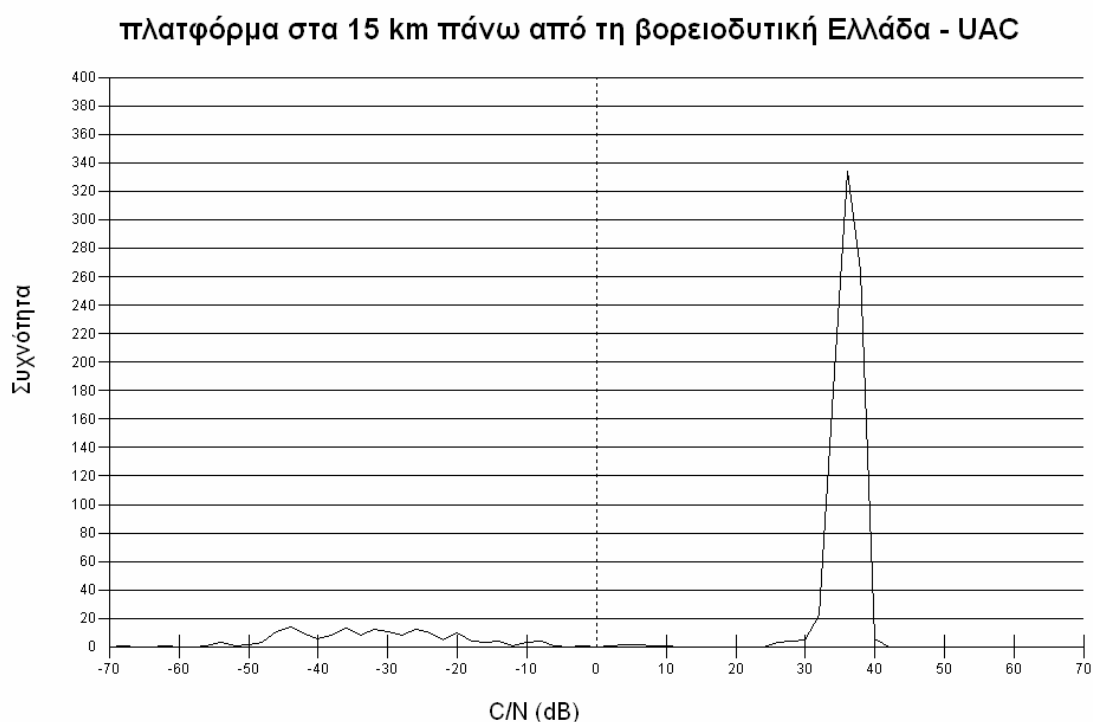
- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από τη βορειοδυτική Ελλάδα έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



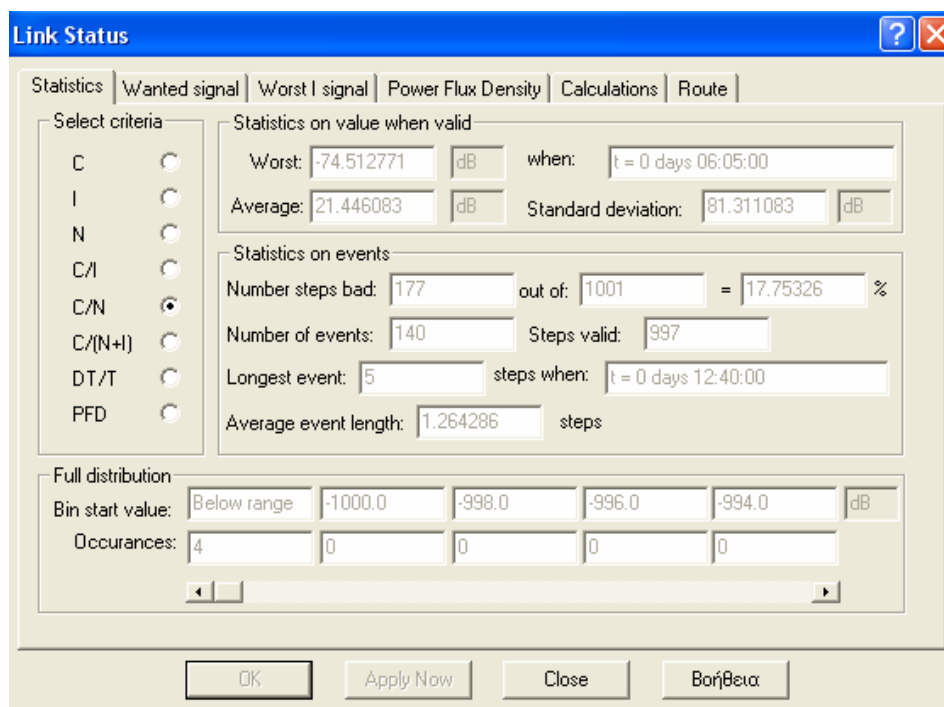
Σχήμα 7.83 Πλατφόρμα στα 15 km πάνω από τη Βορειοδυτική Ελλάδα



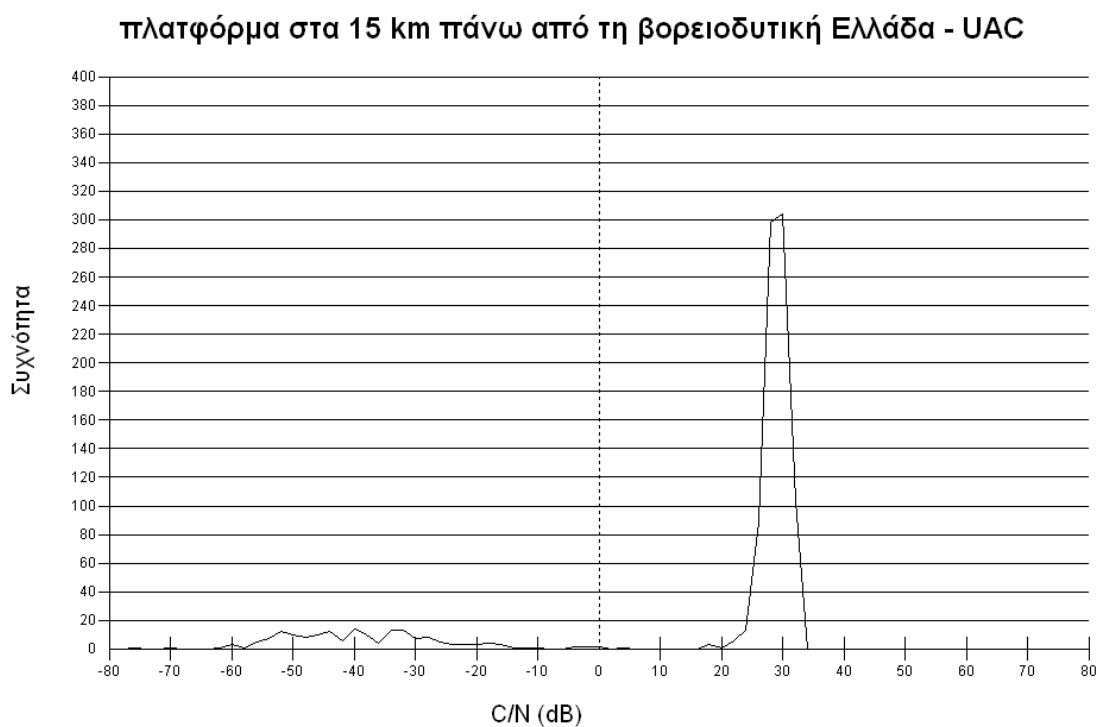
Σχήμα 7.84 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Βορειοδυτική Ελλάδα (15 km – UAC - 384 kbps)



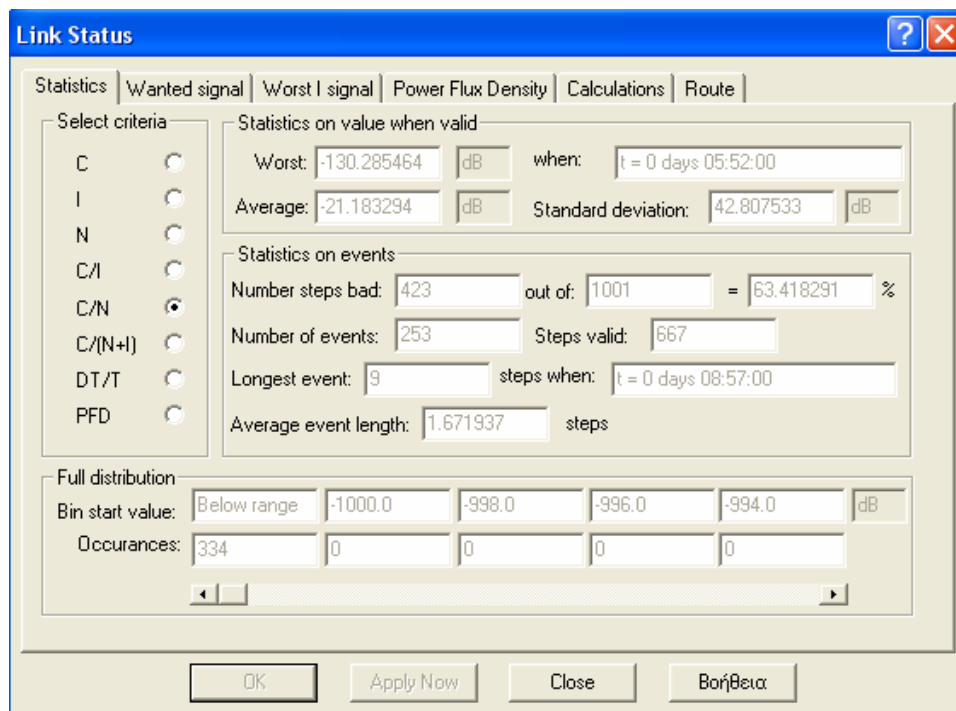
Διάγραμμα 7.72 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



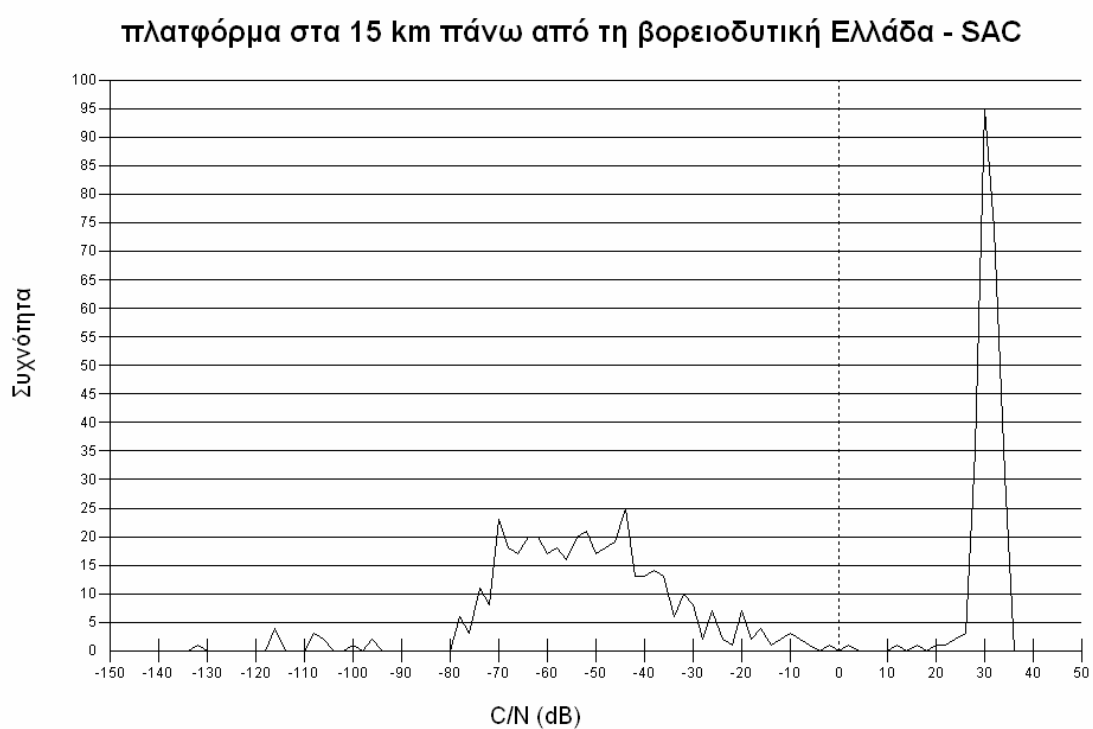
Σχήμα 7.85 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Βορειοδυτική Ελλάδα (15 km – UAC -2000 kbps)



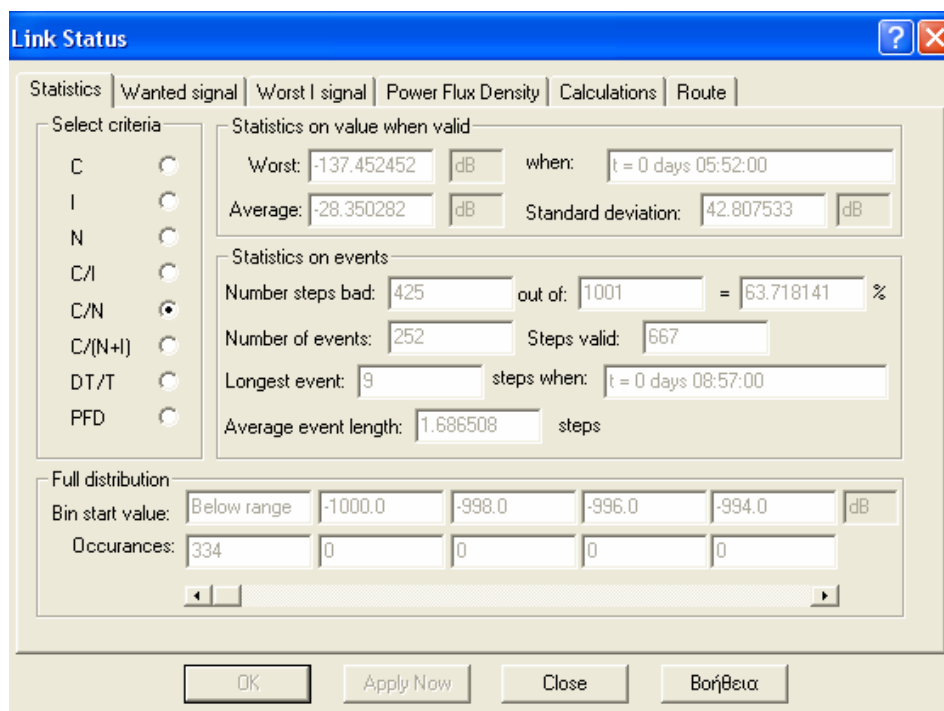
Διάγραμμα 7.73 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.86 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Βορειοδυτική Ελλάδα (15 km – SAC - 384 kbps)

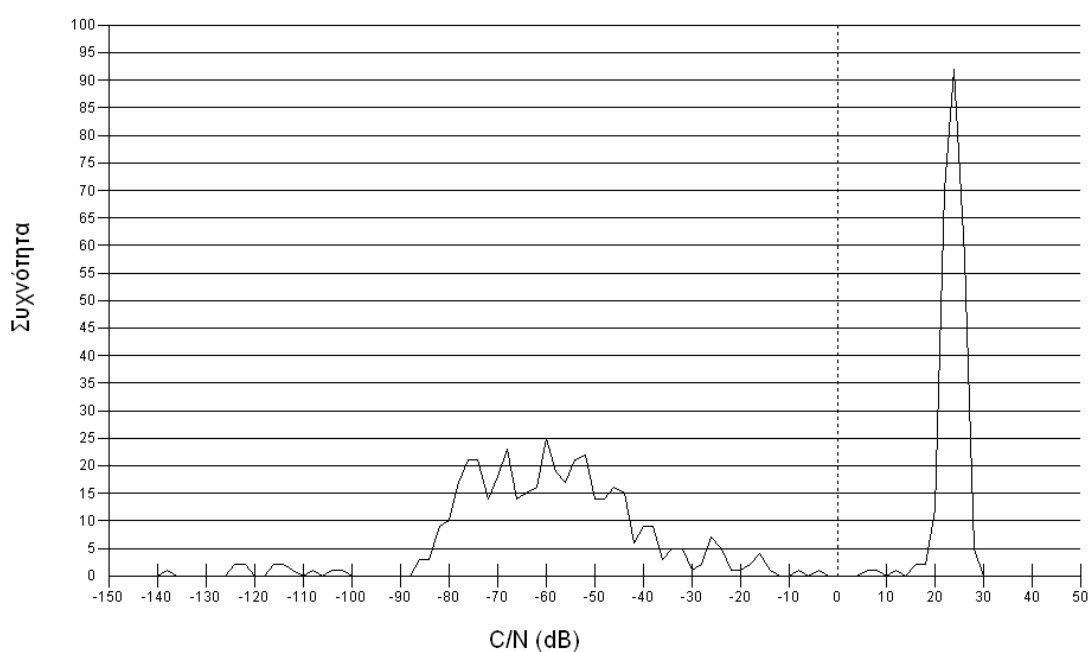


Διάγραμμα 7.74 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

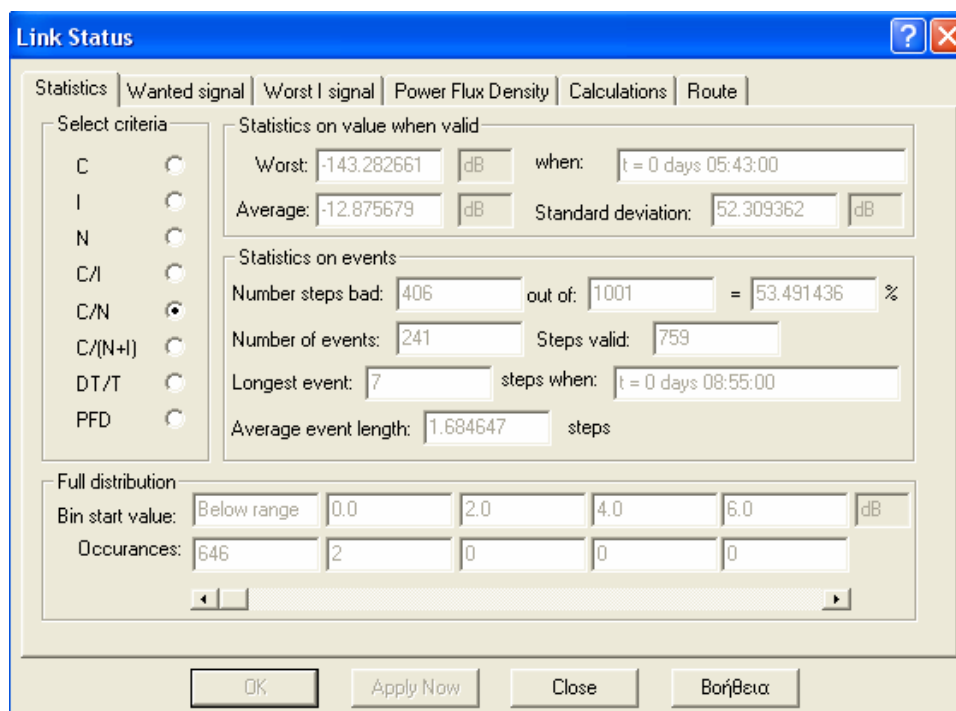


Σχήμα 7.87 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Βορειοδυτική Ελλάδα (15 km – SAC - 2000 kbps)

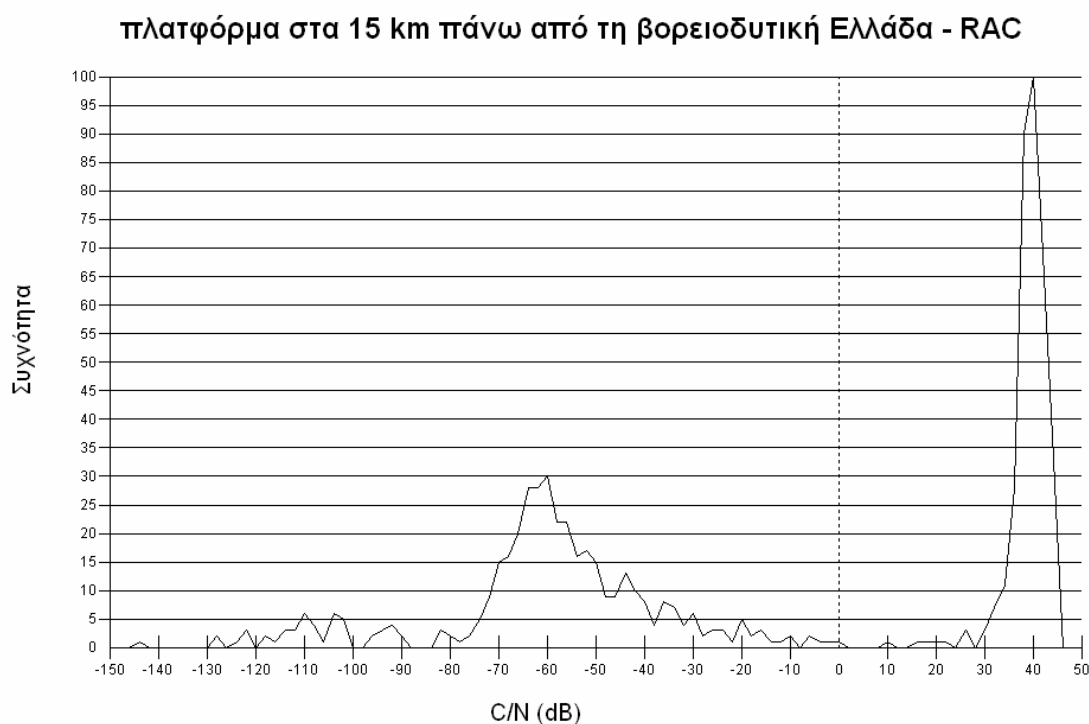
πλατφόρμα στα 15 km πάνω από τη βορειοδυτική Ελλάδα - SAC



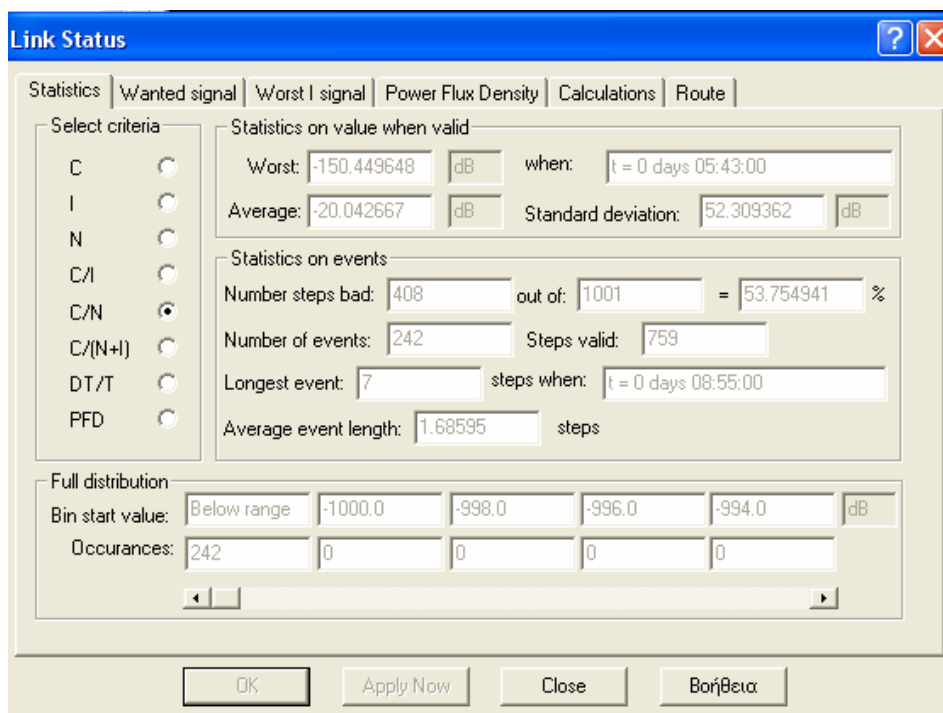
Διάγραμμα 7.75 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



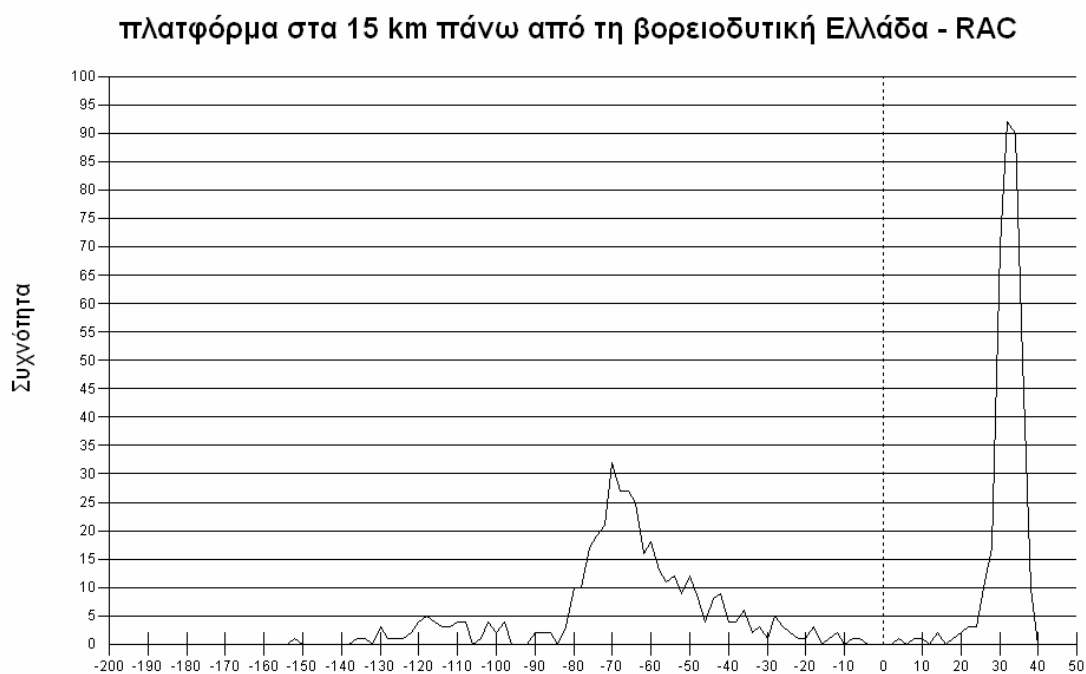
Σχήμα 7.88 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Βορειοδυτική Ελλάδα (15 km – RAC - 384 kbps)



Διάγραμμα 7.76 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.89 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Βορειοδυτική Ελλάδα (15 km – RAC - 2000 kbps)



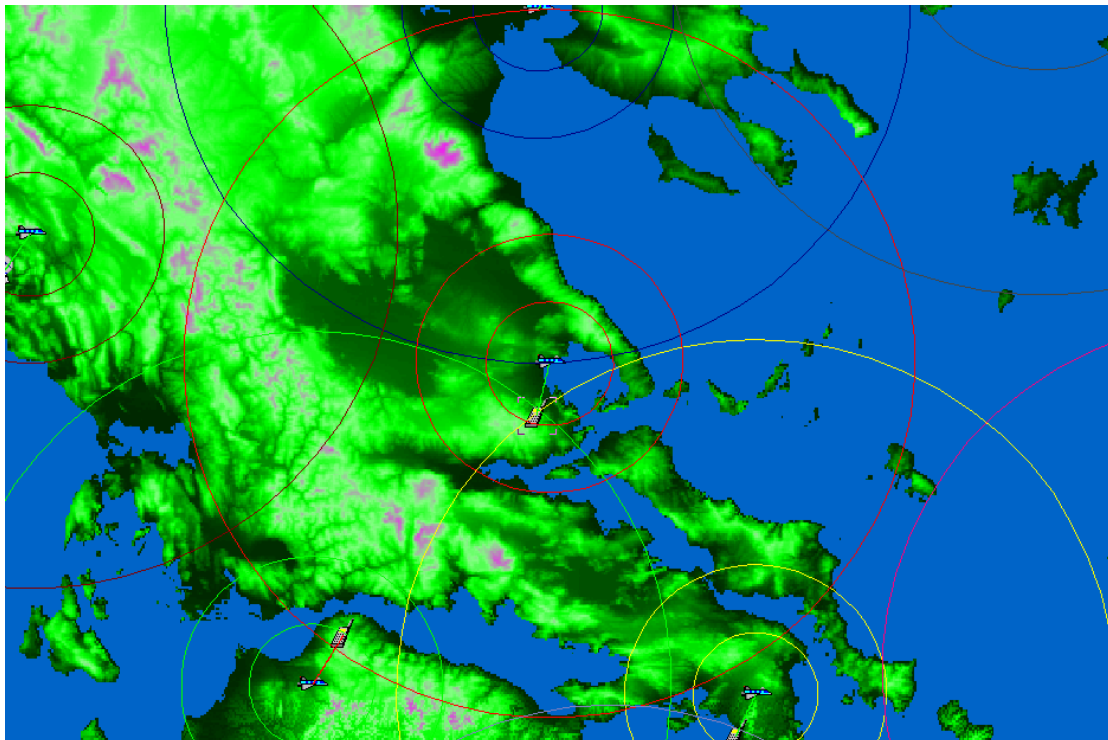
Διάγραμμα 7.77 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

Για ρυθμό μετάδοσης 384 kbps έχουμε στη UAC ζώνη μέσο σηματοθορυβικό λόγο 28.61 dB, μέσο περιθώριο 18.11 dB ενώ 82.35% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι -21.2 dB, ενώ μόνο 36.6% των μετρήσεων είναι πάνω από τα 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο -12.88 dB, ενώ 46.5% των μετρήσεων είναι πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

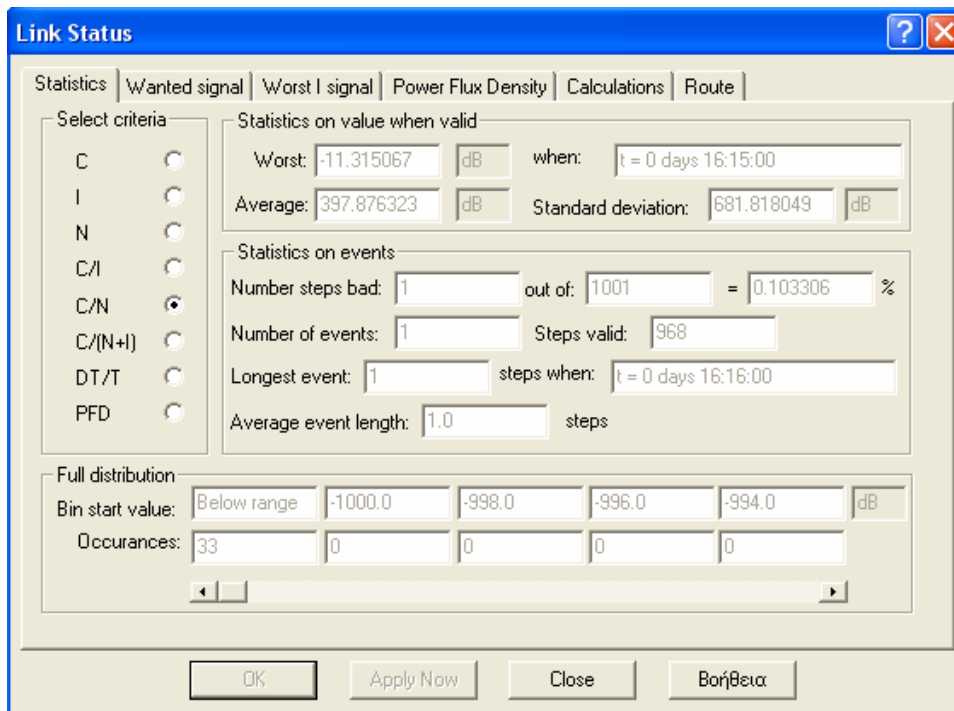
Για ρυθμό μετάδοσης 2000 kbps, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 15.46 dB, μέσο περιθώριο 4.96 dB ενώ 80.62% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από τα 10.5 dB. Στην SAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι -28.35 dB, ενώ μόλις 36.28% των μετρήσεων κυμαίνονται πάνω από τα 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο -20 dB, ενώ 46.25% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

Τα αποτελέσματα κρίνονται ιδιαίτερα άσχημα σε όλες τις ζώνες κάλυψης. Αυτά οφείλονται στις απώλειες και συγκεκριμένα, κυρίως στις απώλειες περίθλασης που είναι πολύ μεγάλες, λόγω του χαμηλού ύψους της πλατφόρμας σε συνδυασμό με τη μορφολογία του εδάφους. Τα παραπάνω επιβεβαιώνονται απόλυτα αν ληφθεί υπ' όψιν το χαμηλό LOS. Συγκεκριμένα στη UAC ζώνη έχουμε 81,7% LOS, στην SAC ζώνη 59,93% ενώ στην RAC ζώνη μόλις 60,34% LOS.

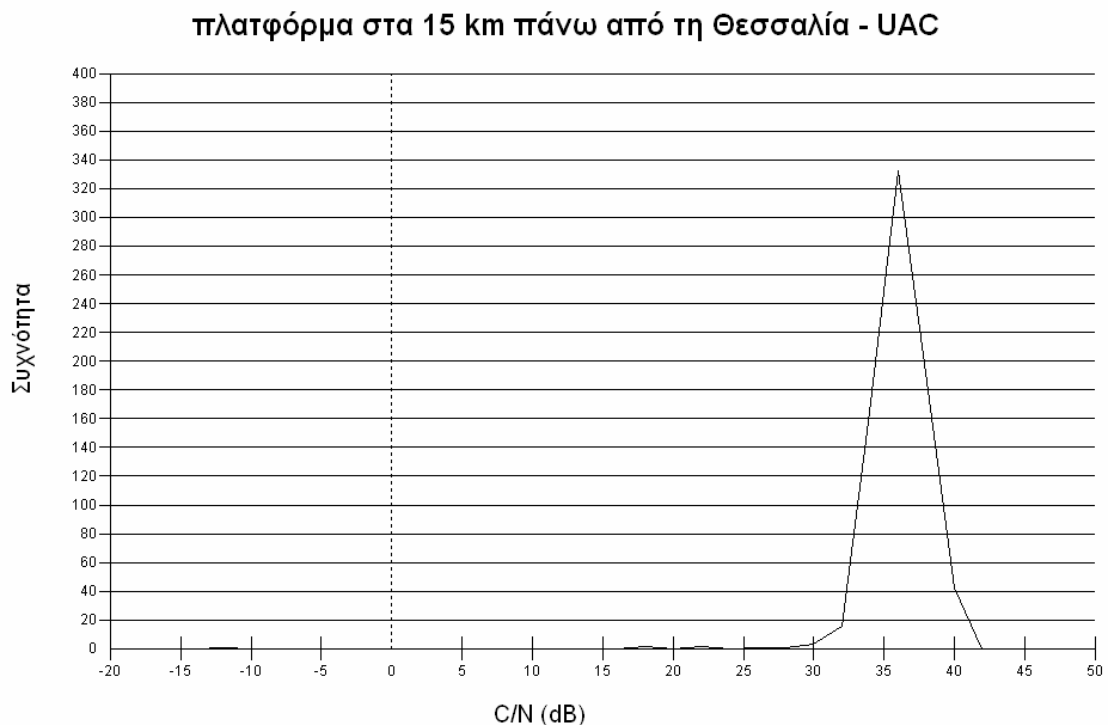
- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από τη Θεσσαλία έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



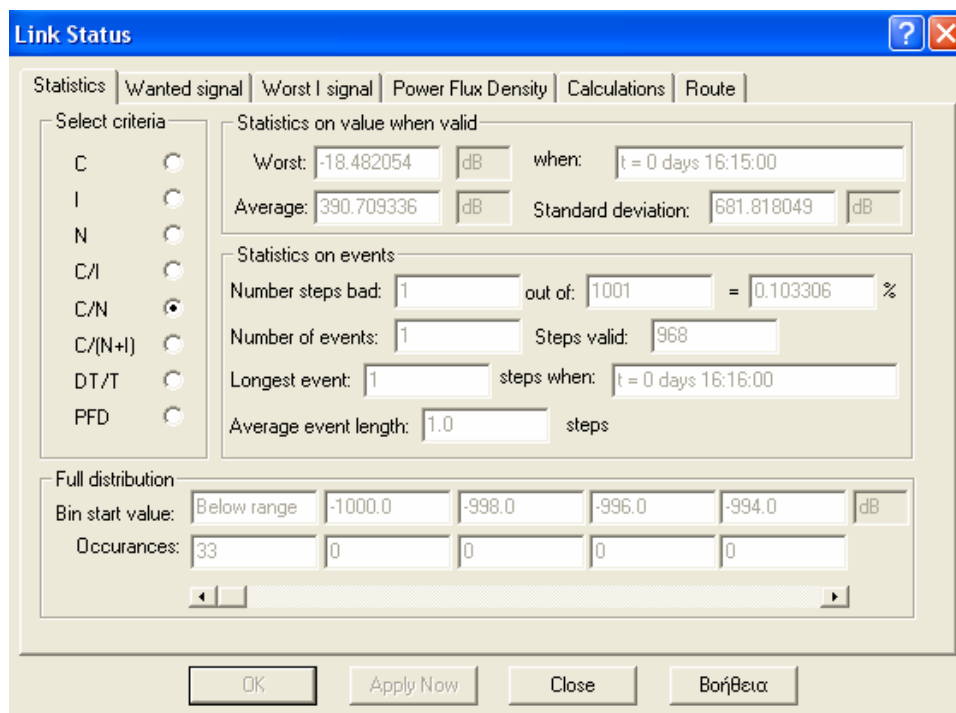
Σχήμα 7.90 Πλατφόρμα στα 15 km πάνω από τη Θεσσαλία



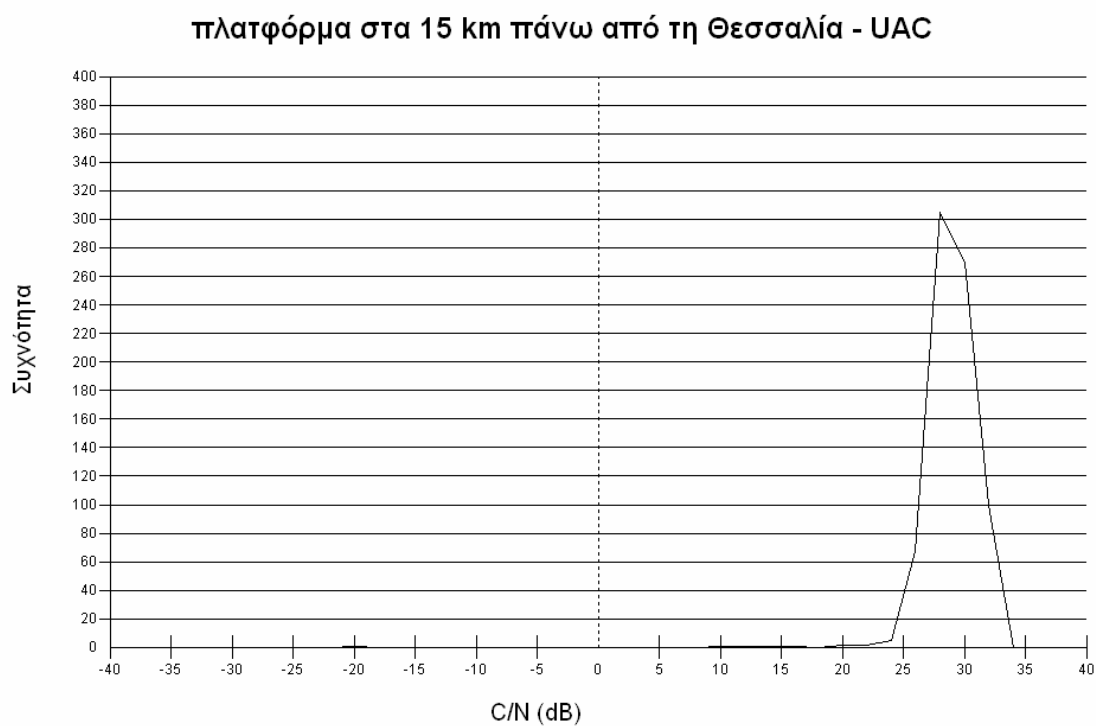
Σχήμα 7.91 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλία (15 km – UAC - 384 kbps)



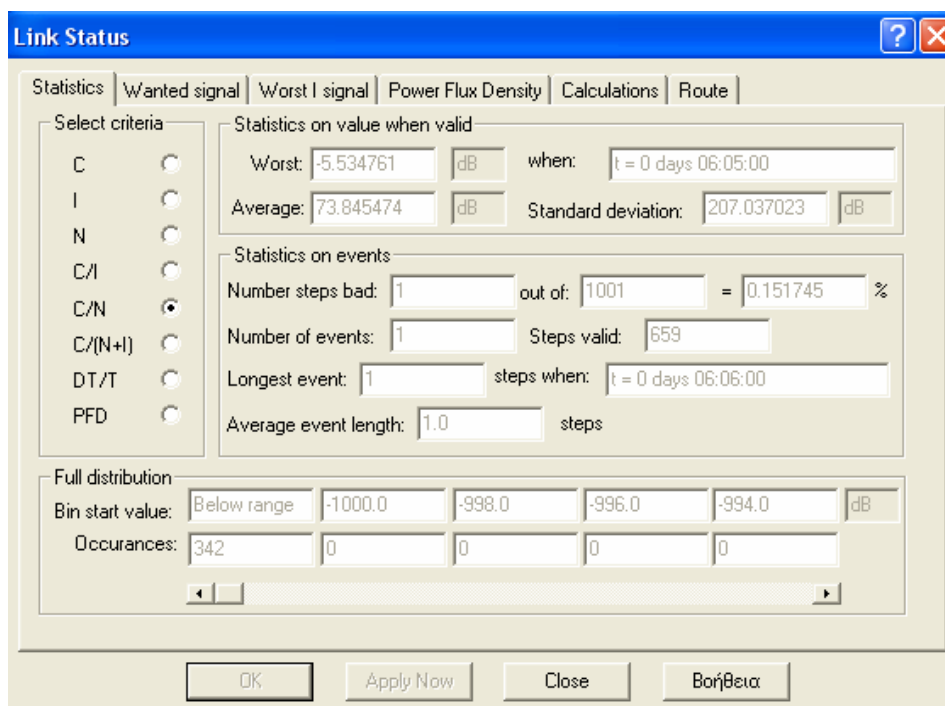
Διάγραμμα 7.78 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.92 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλία (15 km – UAC -2000 kbps)

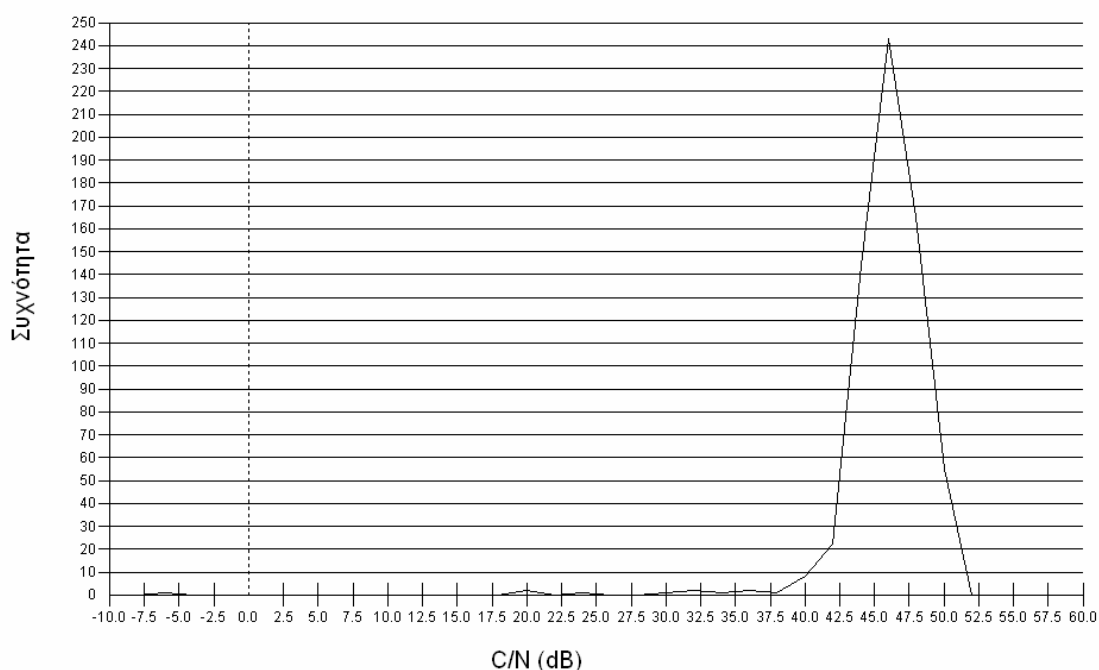


Διάγραμμα 7.79 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.93 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλία (15 km – SAC - 384 kbps)

πλατφόρμα στα 15 km πάνω από τη Θεσσαλία - SAC



Διάγραμμα 7.80 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

Link Status [?] [X]

Statistics | Wanted signal | Worst I signal | Power Flux Density | Calculations | Route

Select criteria

C

I

N

C/I

C/N

C/(N+I)

DT/T

PFD

Statistics on value when valid

Worst: -12.701749 dB when: t = 0 days 06:05:00

Average: 66.678486 dB Standard deviation: 207.037023 dB

Statistics on events

Number steps bad: 1 out of: 1001 = 0.151745 %

Number of events: 1 Steps valid: 659

Longest event: 1 steps when: t = 0 days 06:06:00

Average event length: 1.0 steps

Full distribution

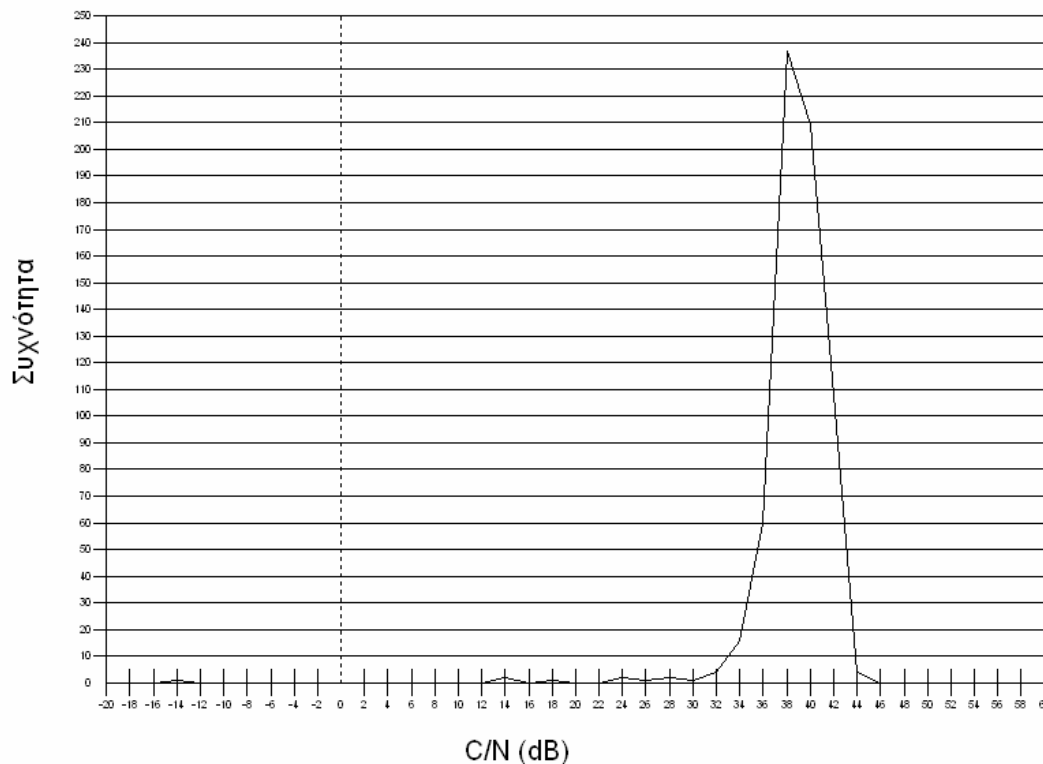
Bin start value: Below range -1000.0 -998.0 -996.0 -994.0 dB

Occurrences: 342 0 0 0 0

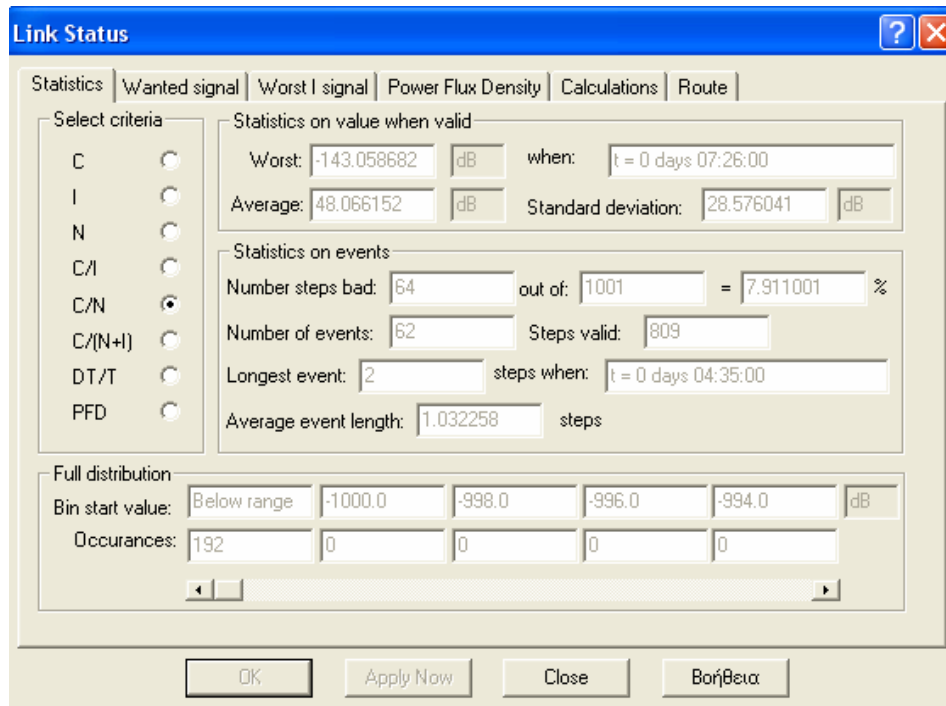
OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 7.94 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλία (15 km – SAC - 2000 kbps)

πλατφόρμα στα 15 km πάνω από τη Θεσσαλία - SAC

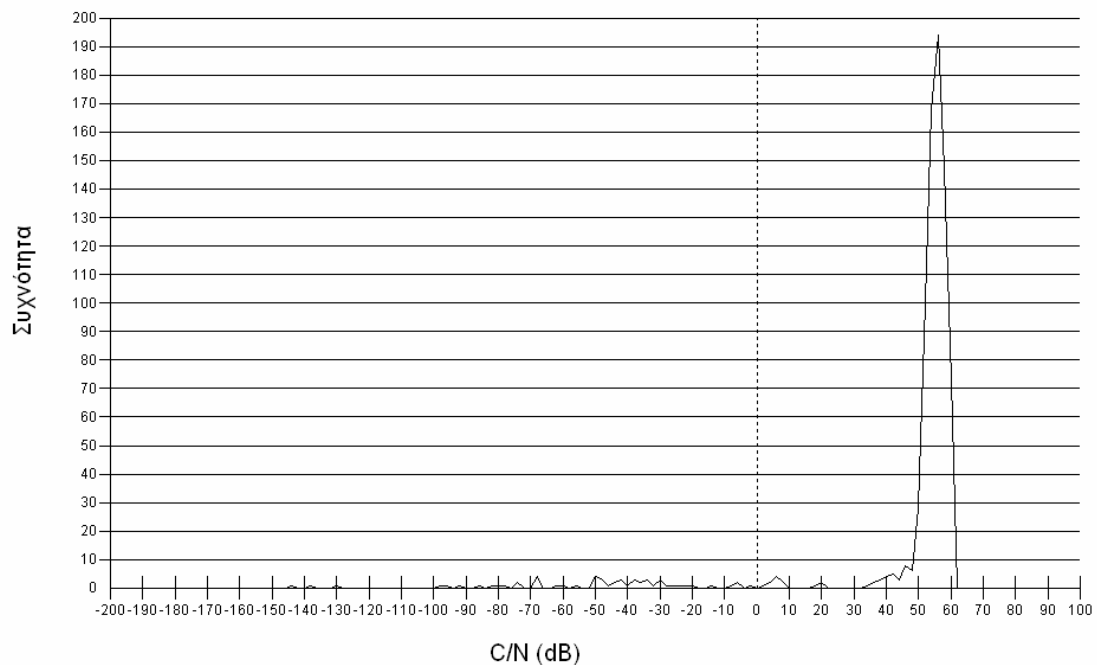


Διάγραμμα 7.81 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

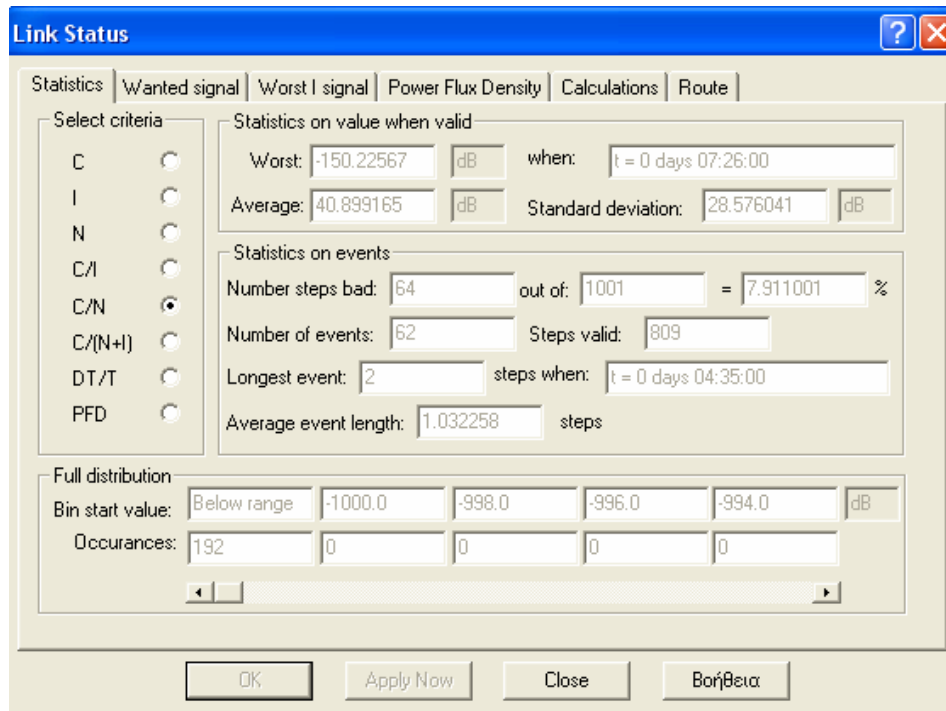


Σχήμα 7.95 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλία (15 km – RAC - 384 kbps)

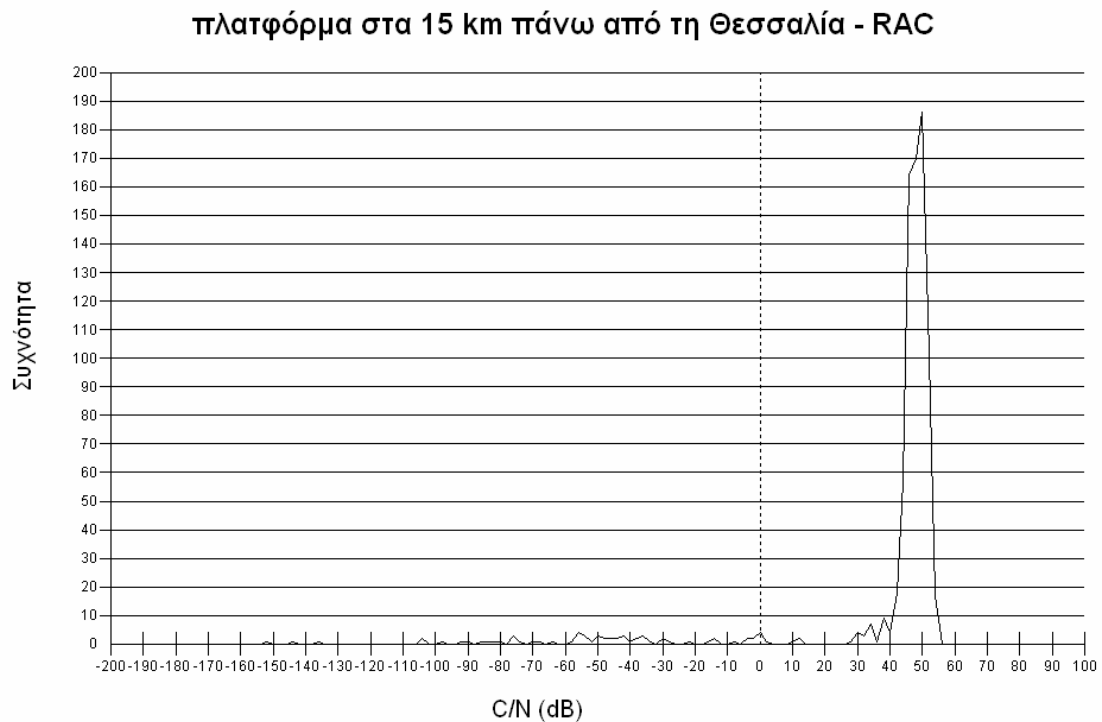
πλατφόρμα στα 15 km πάνω από τη Θεσσαλία - RAC



Διάγραμμα 7.82 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.96 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλία (15 km – RAC - 2000 kbps)



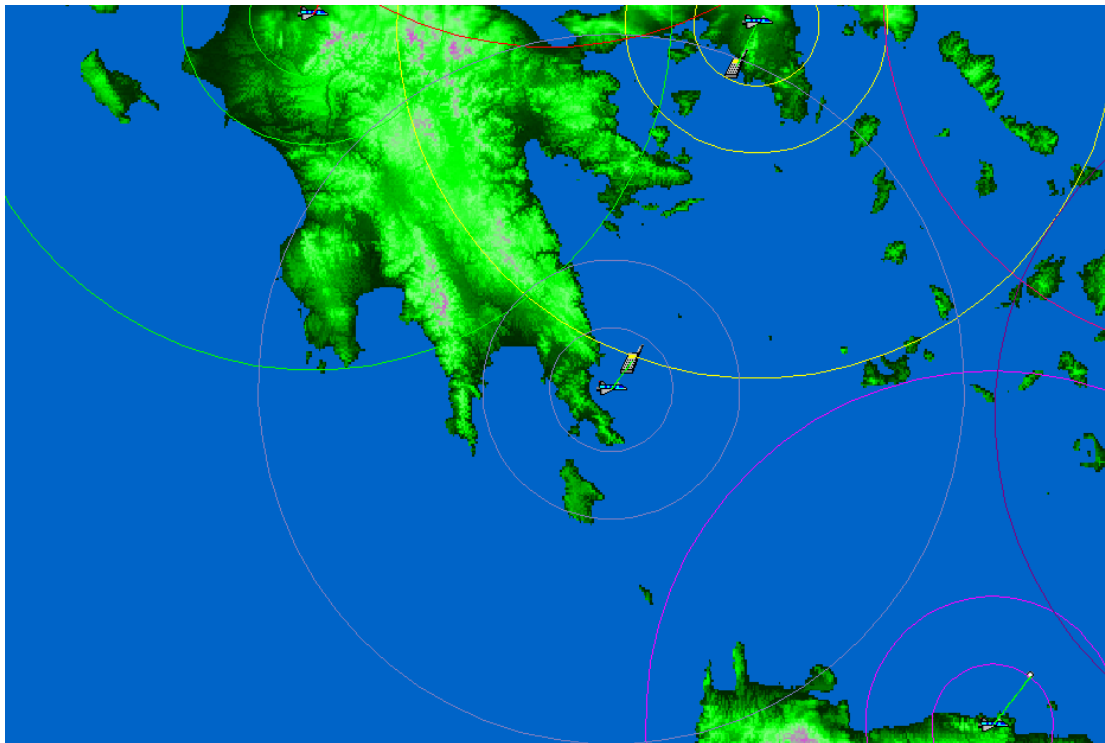
Διάγραμμα 7.83 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

Παρατηρούμε πως και στις τρεις ζώνες της περιοχής κάλυψης ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος που υπολογίσαμε είναι μεγαλύτερος του απαιτούμενου σηματοθορυβικού λόγου των 10.5 dB για μετάδοση τόσο δεδομένων όσο και audio και video.

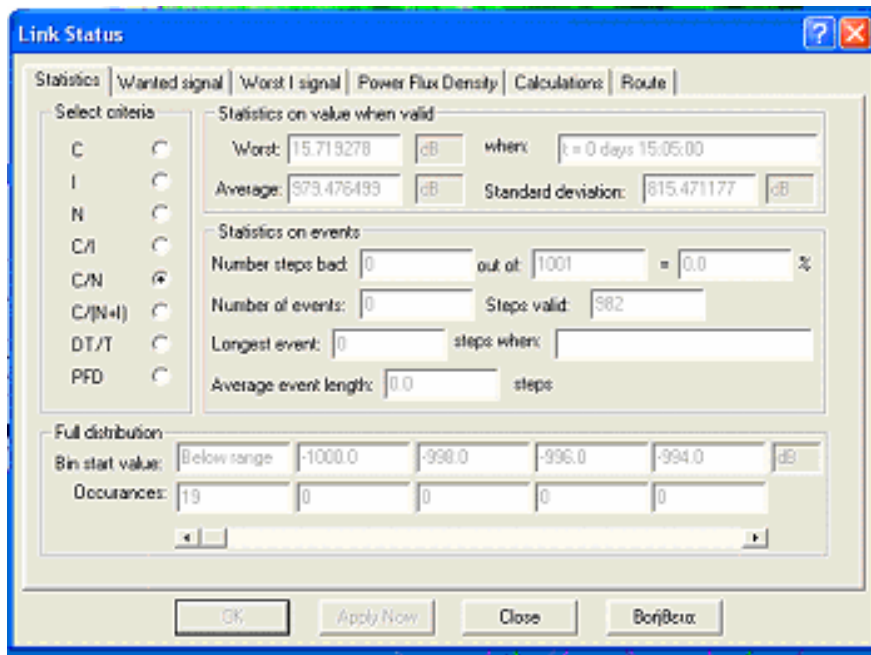
Συγκεκριμένα για ρυθμό μετάδοσης 384 kbps, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 397.9 dB, μέσο περιθώριο 387.4 dB ενώ 99.9% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5dB. Στην SAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 73.85 dB, μέσο περιθώριο 63.35 dB ενώ 99.85% των μετρήσεων είναι πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 48.07 dB, μέσο περιθώριο 37.57 dB ενώ 92.1% των μετρήσεων κυμαίνονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

Για ρυθμό μετάδοσης 2000 kbps, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 390.71 dB, μέσο περιθώριο 380.21 dB ενώ 99.9% των μετρήσεων είναι πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι 66.68 dB, το μέσο περιθώριο 56.18 dB ενώ 99.85% των μετρήσεων είναι μεγαλύτερες από 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 40.9 dB, μέσο περιθώριο 30.4 dB ενώ έχουμε 92.09% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από τη νότια Πελοπόννησο έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

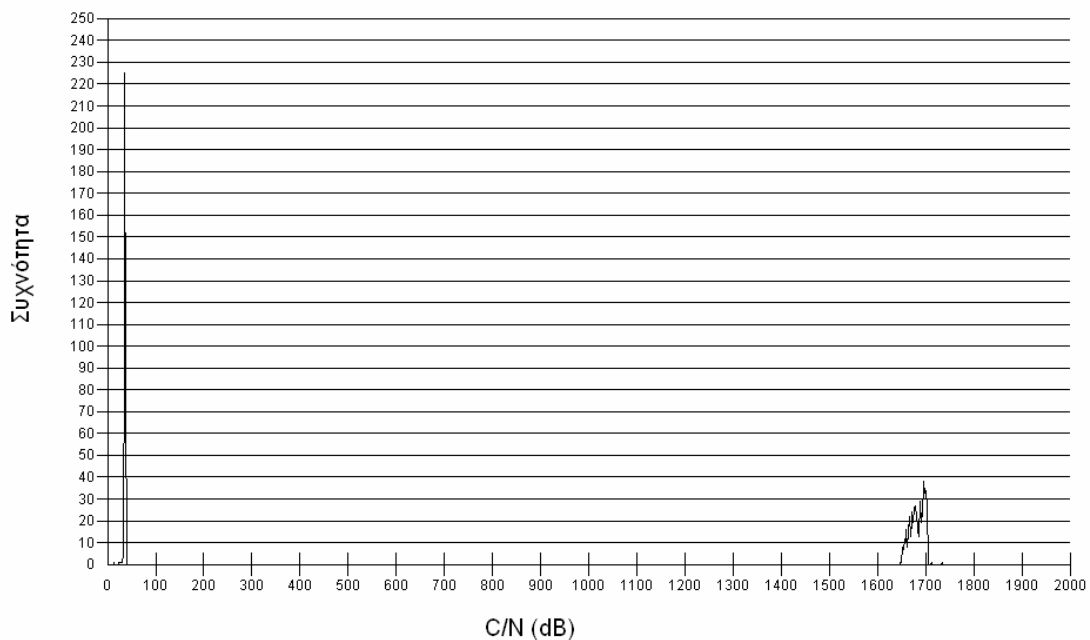


Σχήμα 7.97 Πλατφόρμα στα 15 km πάνω από τη Νότια Πελοπόννησο

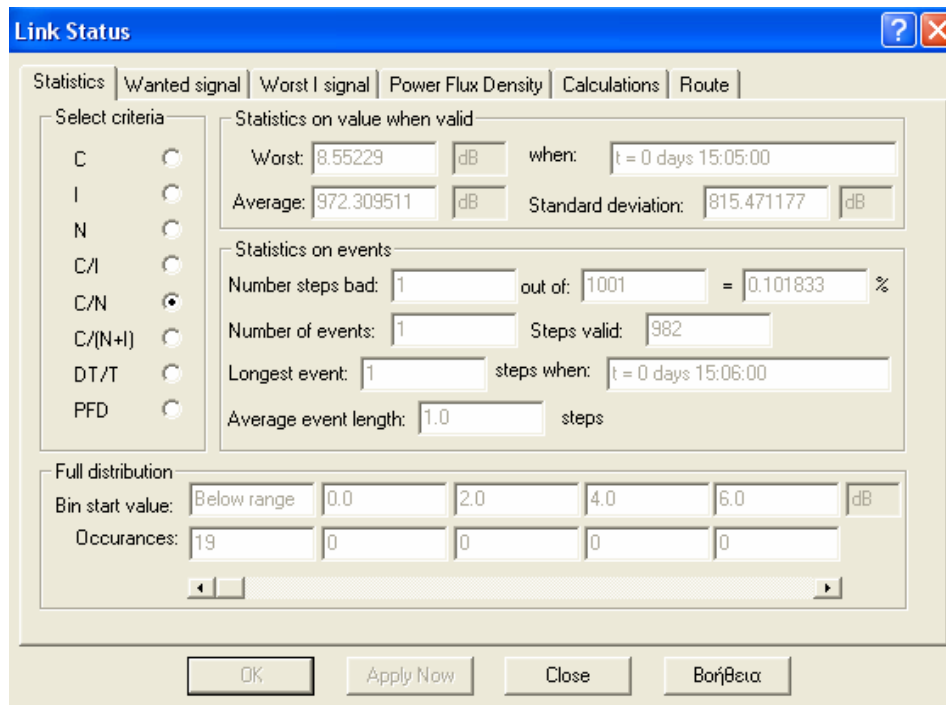


Σχήμα 7.98 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Νότια Πελοπόννησο (15 km – UAC - 384 kbps)

πλατφόρμα στα 15 km πάνω από τη νότια Πελοπόννησο - UAC

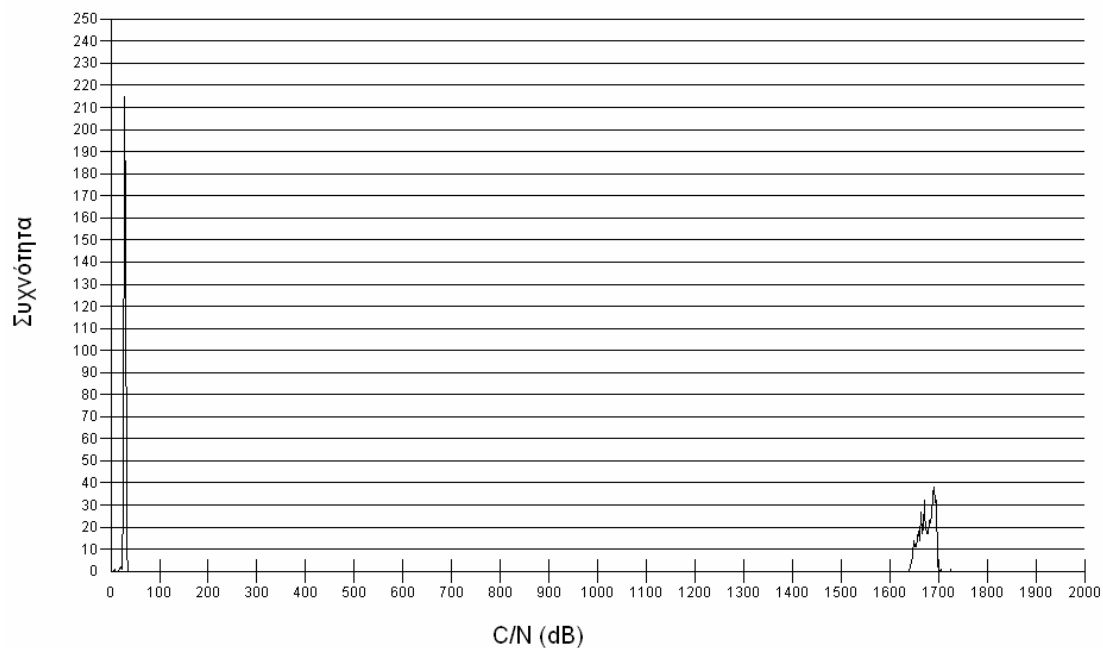


Διάγραμμα 7.84 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

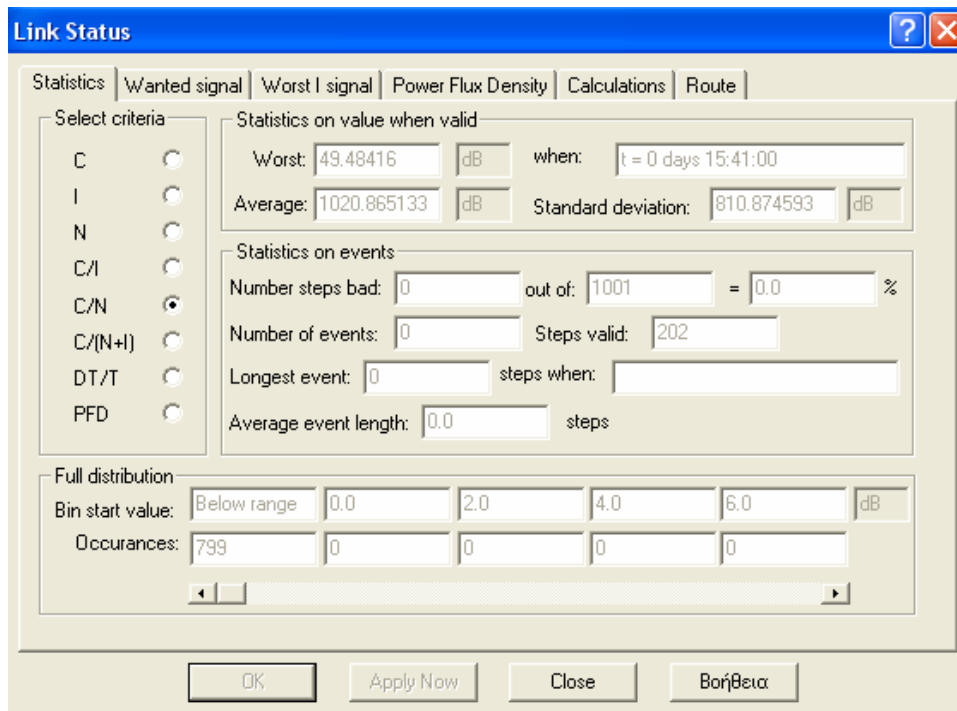


Σχήμα 7.99 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Νότια Πελοπόννησο (15 km – UAC -2000 kbps)

πλατφόρμα στα 15 km πάνω από τη νότια Πελοπόννησο - UAC



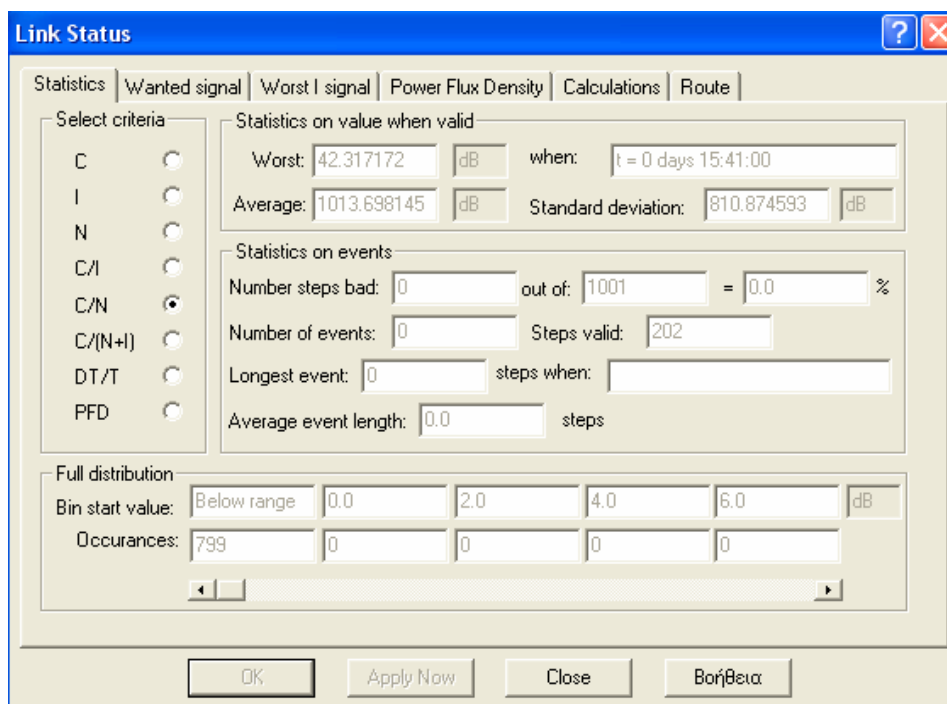
Διάγραμμα 7.85 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.100 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Νότια Πελοπόννησο (15 km – SAC - 384 kbps)

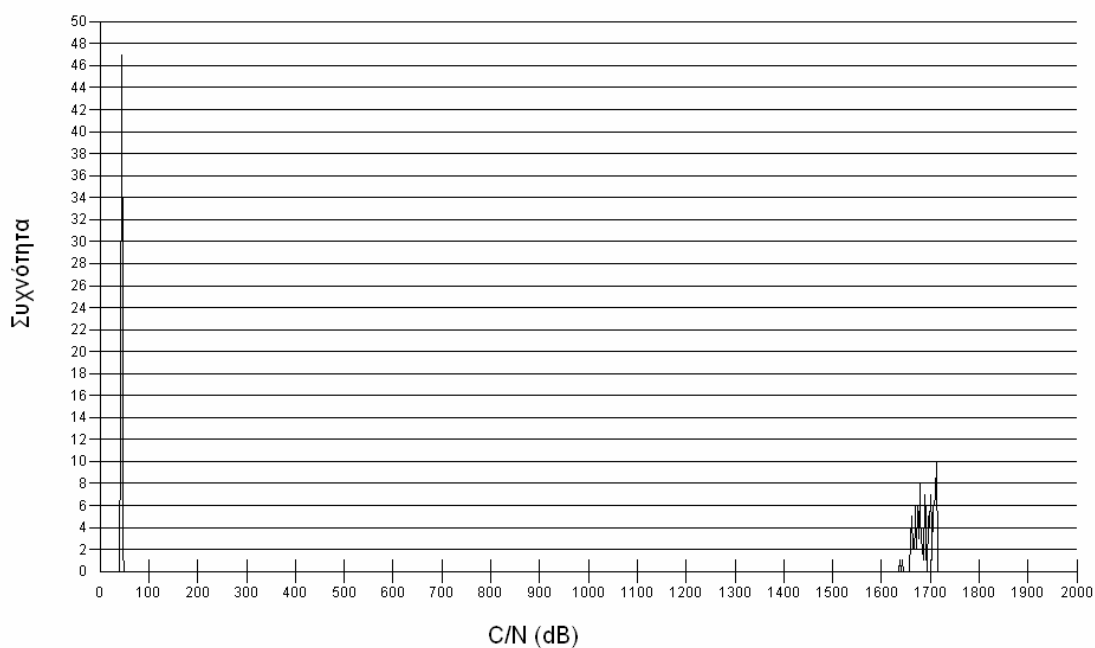


Διάγραμμα 7.86 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

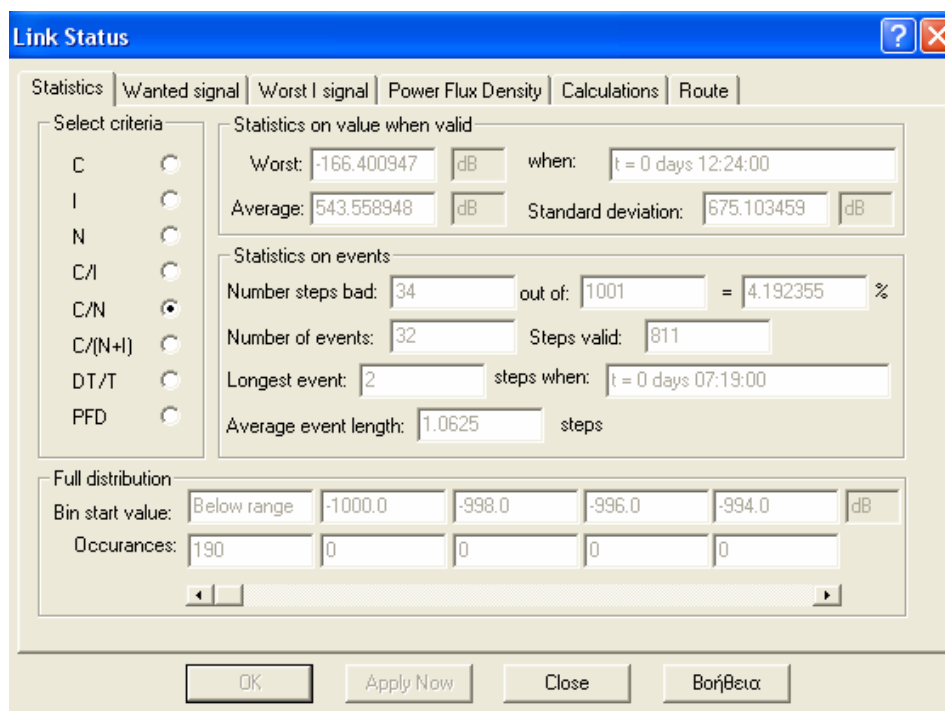


Σχήμα 7.101 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Νότια Πελοπόννησο (15 km – SAC - 2000 kbps)

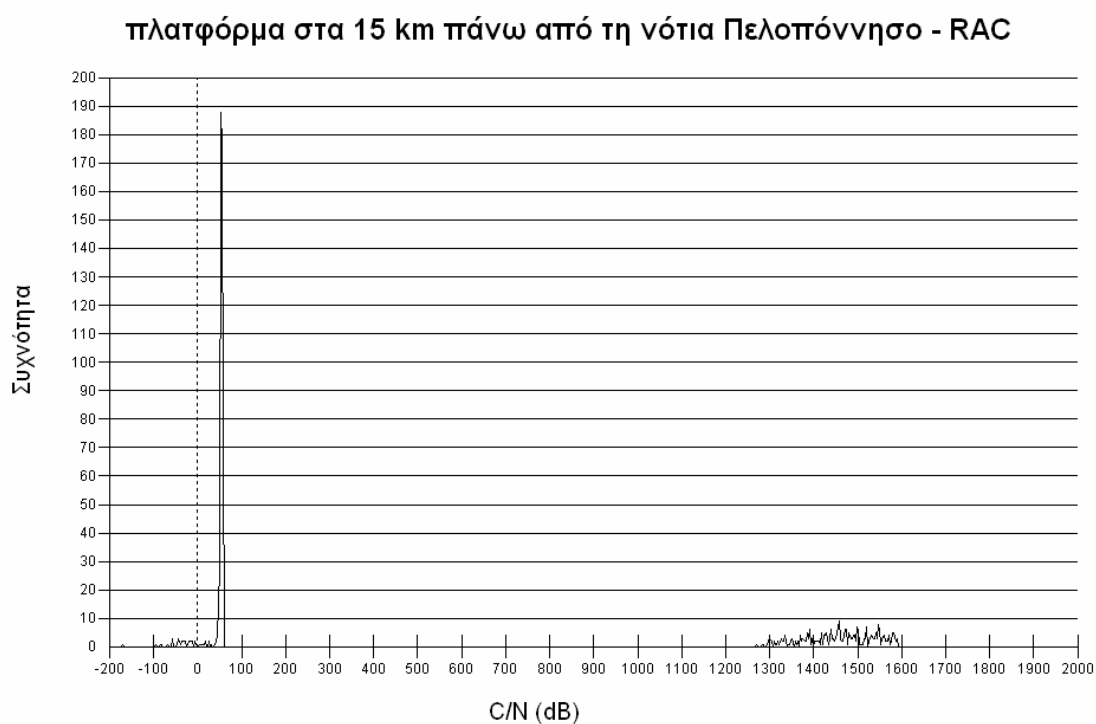
πλατφόρμα στα 15 km πάνω από τη νότια Πελοπόννησο - SAC



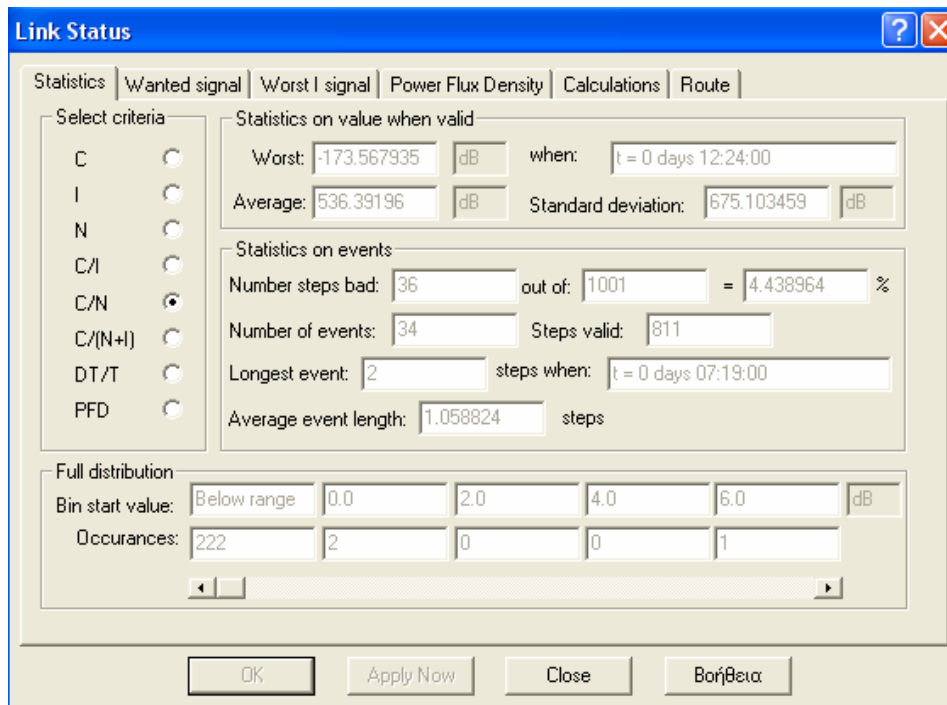
Διάγραμμα 7.87 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.102 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Νότια Πελοπόννησο (15 km – RAC - 384 kbps)

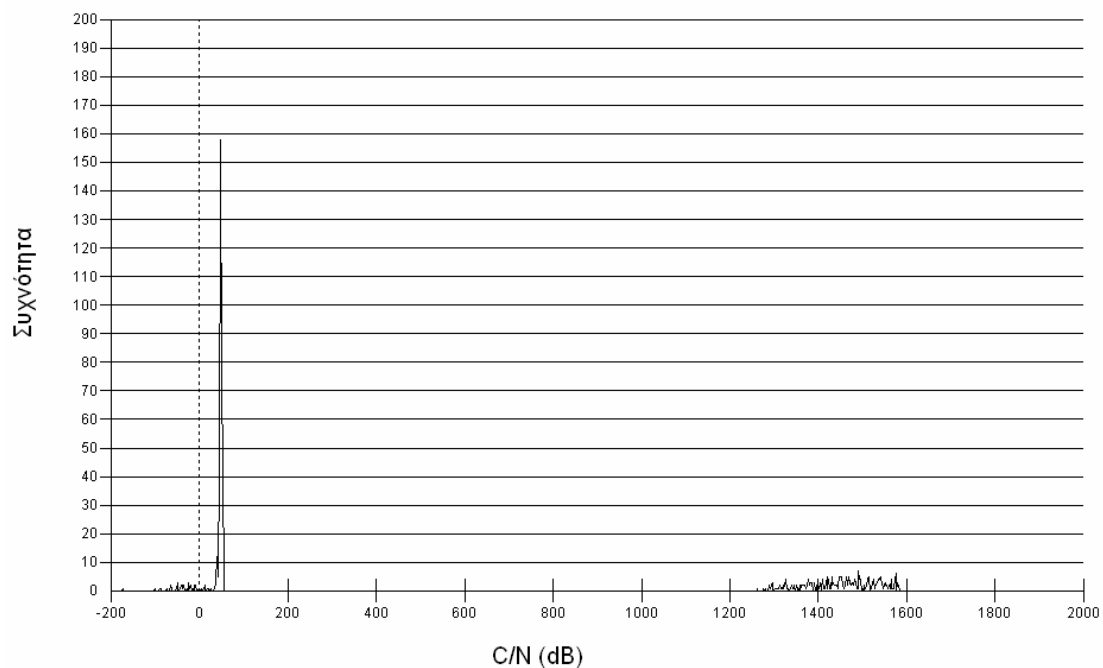


Διάγραμμα 7.88 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.103 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Νότια Πελοπόννησο (15 km – RAC - 2000 kbps)

πλατφόρμα στα 15 km πάνω από τη νότια Πελοπόννησο - RAC



Διάγραμμα 7.89 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

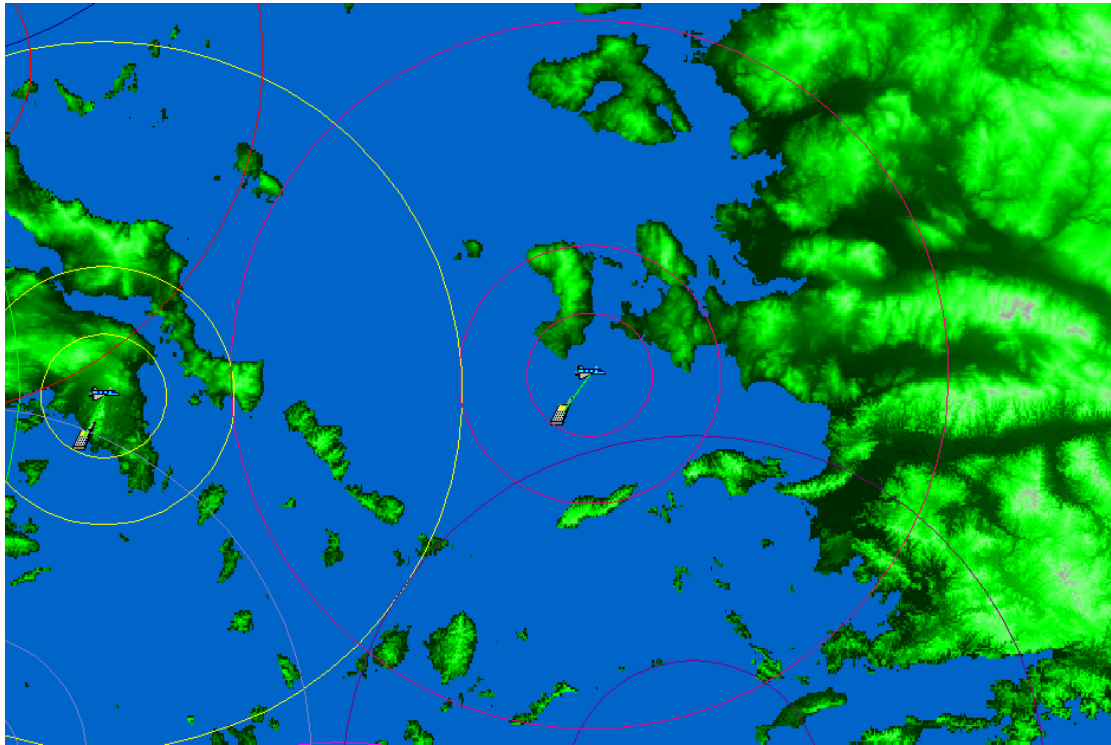
Παρατηρούμε πως και στις τρεις ζώνες της περιοχής κάλυψης ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος που υπολογίσαμε είναι μεγαλύτερος του απαιτούμενου σηματοθορυβικού λόγου των 10.5 dB για μετάδοση τόσο δεδομένων όσο και audio και video.

Συγκεκριμένα για μετάδοση δεδομένων με ρυθμό 384 kbps, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 979.5 dB, μέσο περιθώριο 969 dB ενώ έχουμε 100% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι 1020.87 dB, το μέσο περιθώριο 1010.37 dB ενώ 100% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 543.6 dB, μέσο περιθώριο 533.1 dB ενώ 95.8% των μετρήσεων είναι μεγαλύτερες από 10.5 dB.

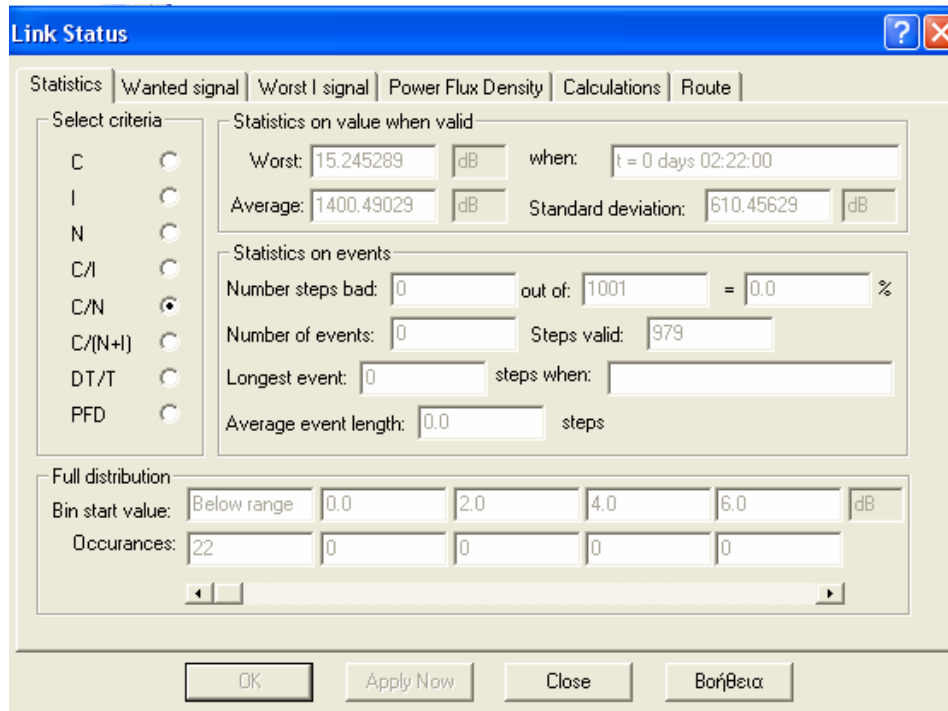
Για ρυθμό μετάδοσης 2000 kbps, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 972.3 dB, μέσο περιθώριο 961.8 dB ενώ έχουμε 99.9% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι 1013.7 dB, το μέσο περιθώριο 1003.2 dB ενώ 100% των μετρήσεων είναι μεγαλύτερες από 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 536.39 dB, μέσο περιθώριο 525.89 dB ενώ 95.56% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

Σε όλες τις ζώνες κάλυψης ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι ιδιαίτερα μεγάλος, δημιουργώντας ένα πολύ ικανοποιητικό μέσο περιθώριο και καθιστώντας ιδιαίτερα επιτυχημένη επίδοση των ζεύξεων. Κρίνοντας όμως μόνο από το μέσο σηματοθορυβικό λόγο, εξάγουμε υπεραισιόδοξα συμπεράσματα για τη λειτουργία του συστήματος αφού η ύπαρξη κάποιων πολύ υψηλών μετρήσεων, οι οποίες οφείλονται στην ανάκλαση του σήματος στη θάλασσα και η αθροιστική συμβολή στο λαμβανόμενο σήμα, εκτοξεύει σε πολύ υψηλά επίπεδα και το μέσο σηματοθορυβικό λόγο ενώ η πλειονότητα των μετρήσεων κυμαίνεται σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα όπως απεικονίζεται και στα παραπάνω διαγράμματα. Οι επιδόσεις των ζεύξεων όμως στη νότια Πελοπόννησο εξακολουθούν να κρίνονται ιδιαίτερα ικανοποιητικές, όπως φαίνεται και από τα ποσοστά των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB που παραθέσαμε.

- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από το Βορειοανατολικό Αιγαίο έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

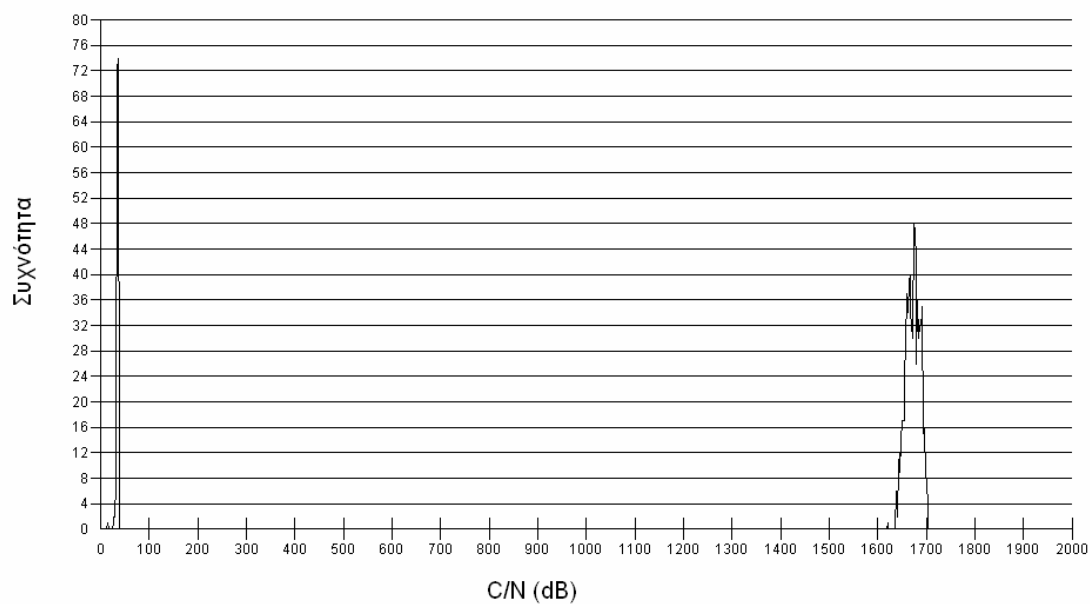


Σχήμα 7.104 Πλατφόρμα στα 15 km πάνω από το Βορειοανατολικό Αιγαίο

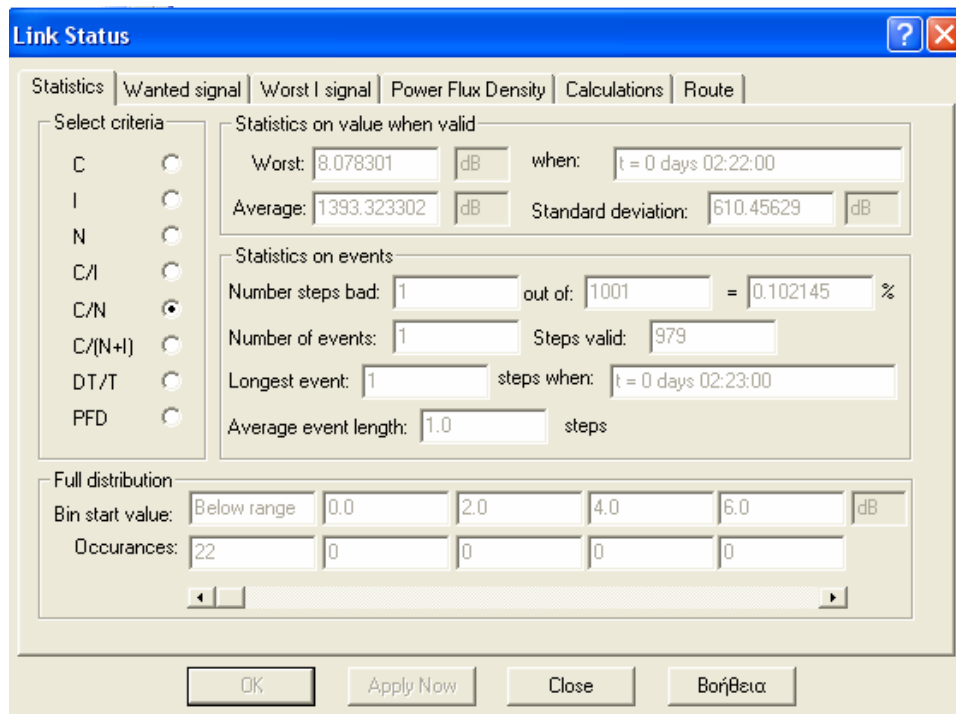


Σχήμα 7.105 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Βορειοανατολικό Αιγαίο (15 km – UAC - 384 kbps)

πλατφόρμα στα 15 km πάνω από το βορειοανατολικό Αιγαίο - UAC

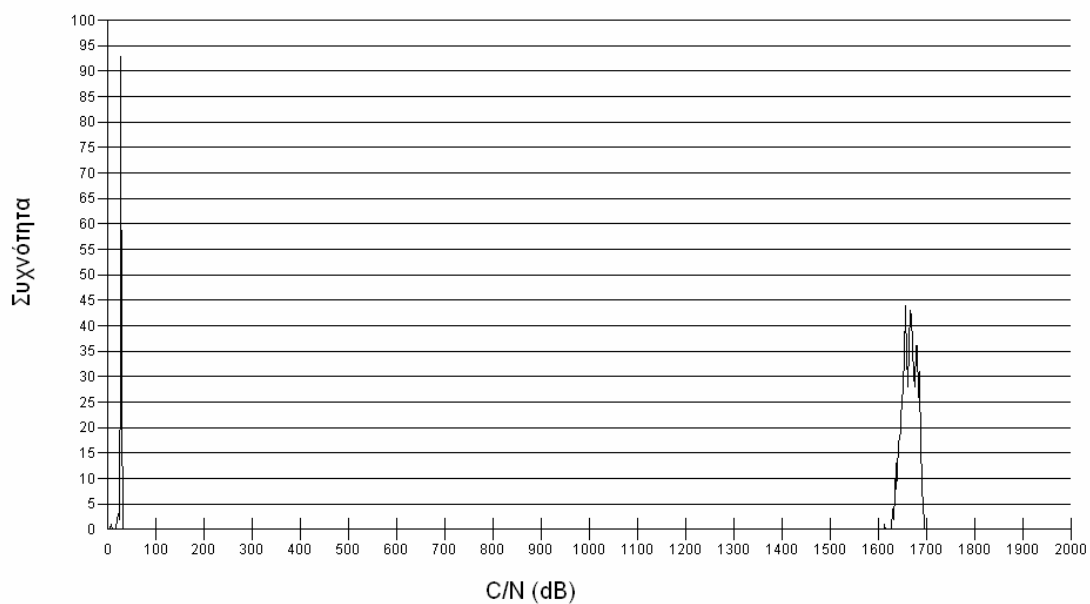


Διάγραμμα 7.90 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

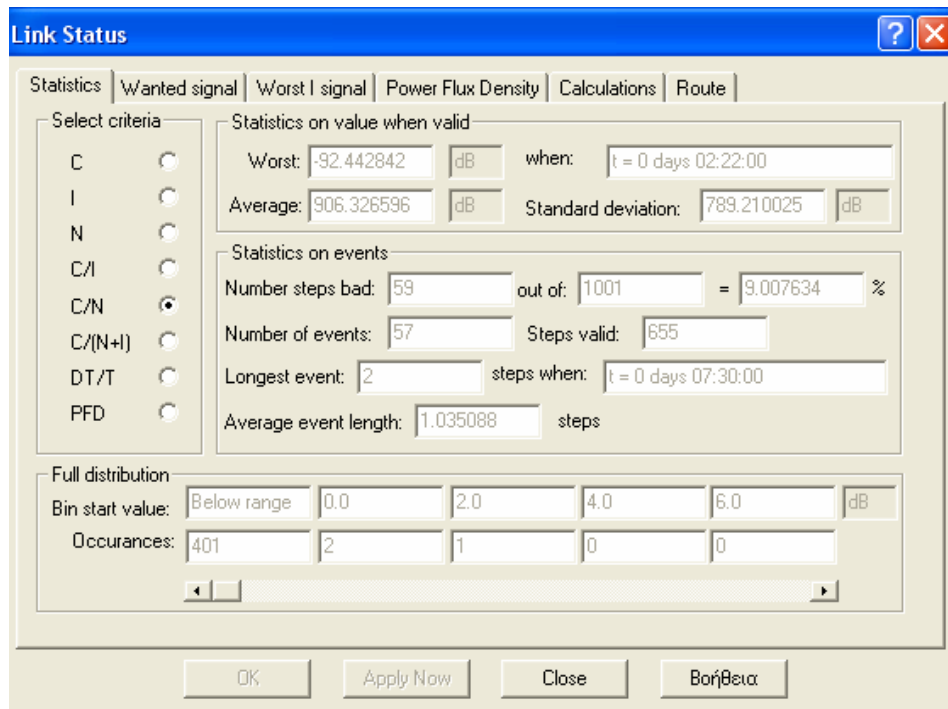


Σχήμα 7.106 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Βορειοανατολικό Αιγαίο (15 km – UAC -2000 kbps)

πλατφόρμα στα 15 km πάνω από το βορειοανατολικό Αιγαίο - UAC

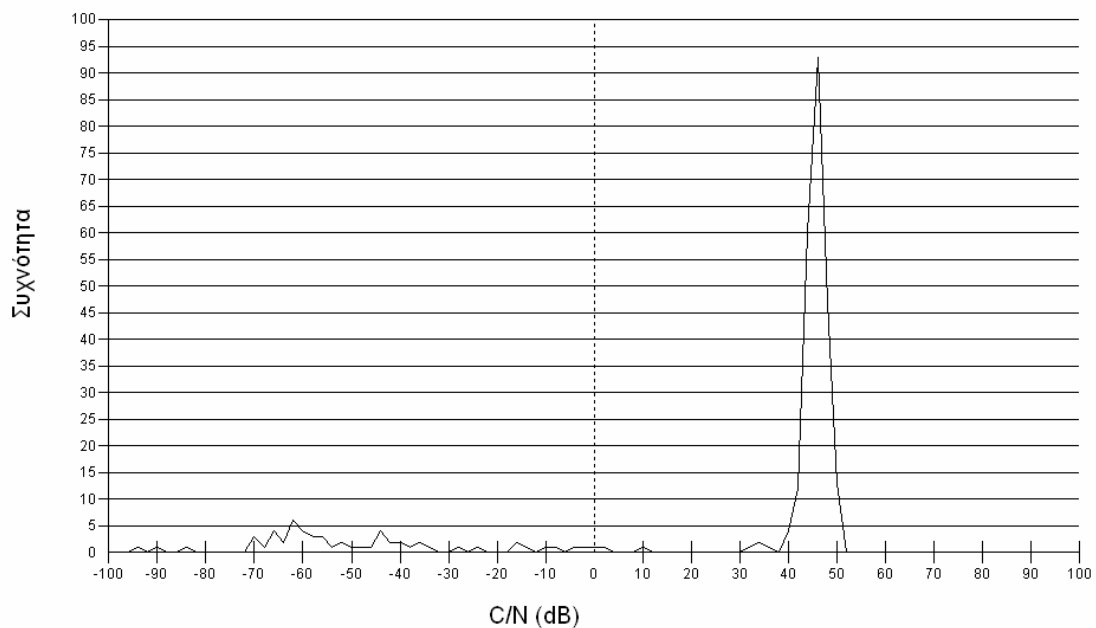


Διάγραμμα 7.91 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

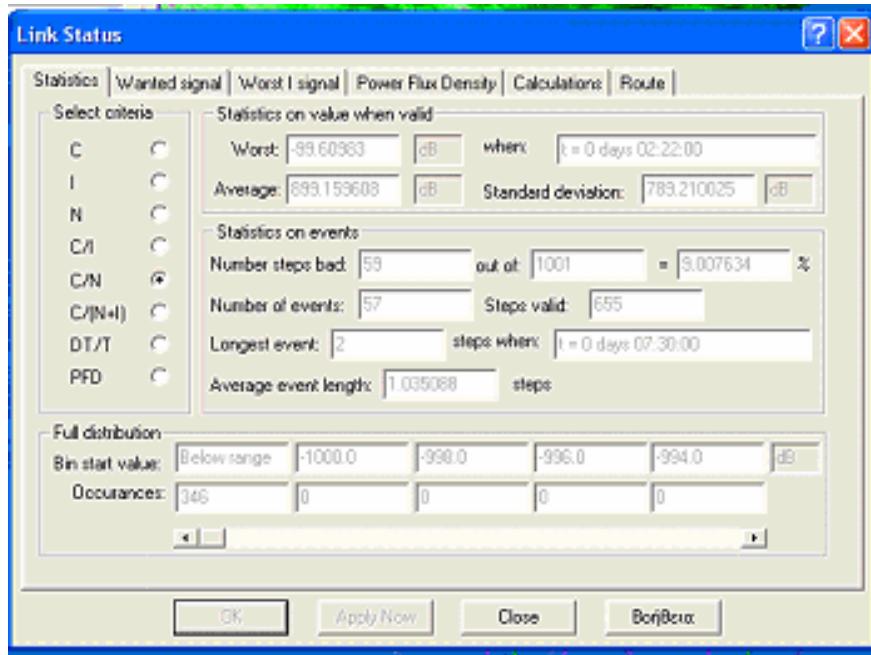


Σχήμα 7.107 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Βορειοανατολικό Αιγαίο (15 km – SAC - 384 kbps)

πλατφόρμα στα 15 km πάνω από το βορειοανατολικό Αιγαίο - SAC

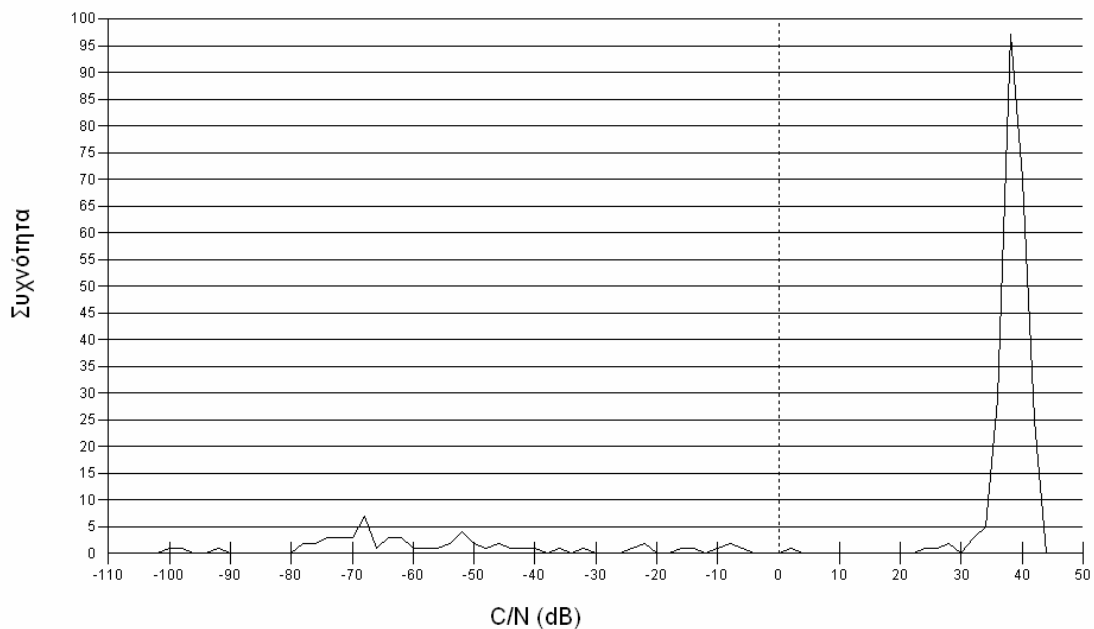


Διάγραμμα 7.92 Συνάρτηση πικνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.108 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Βορειοανατολικό Αιγαίο (15 km – SAC - 2000 kbps)

πλατφόρμα στα 15 km πάνω από το βορειοανατολικό Αιγαίο - SAC



Διάγραμμα 7.93 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

Link Status [?] [X]

Statistics | Wanted signal | Worst I signal | Power Flux Density | Calculations | Route

Select criteria

C
 I
 N
 C/I
 C/N
 C/(N+I)
 DT/T
 PFD

Statistics on value when valid

Worst: -143.046933 dB when: t = 0 days 06:36:00
 Average: 357.002031 dB Standard deviation: 599.246224 dB

Statistics on events

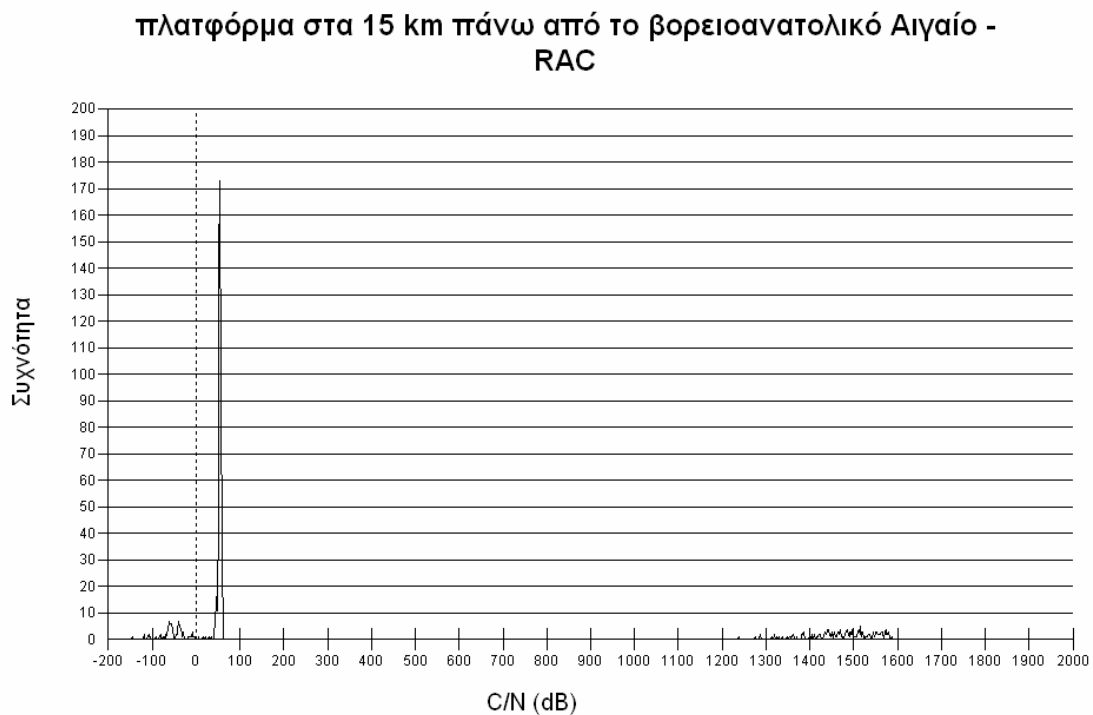
Number steps bad: 93 out of: 1001 = 11.668758 %
 Number of events: 81 Steps valid: 797
 Longest event: 4 steps when: t = 0 days 07:32:00
 Average event length: 1.148148 steps

Full distribution

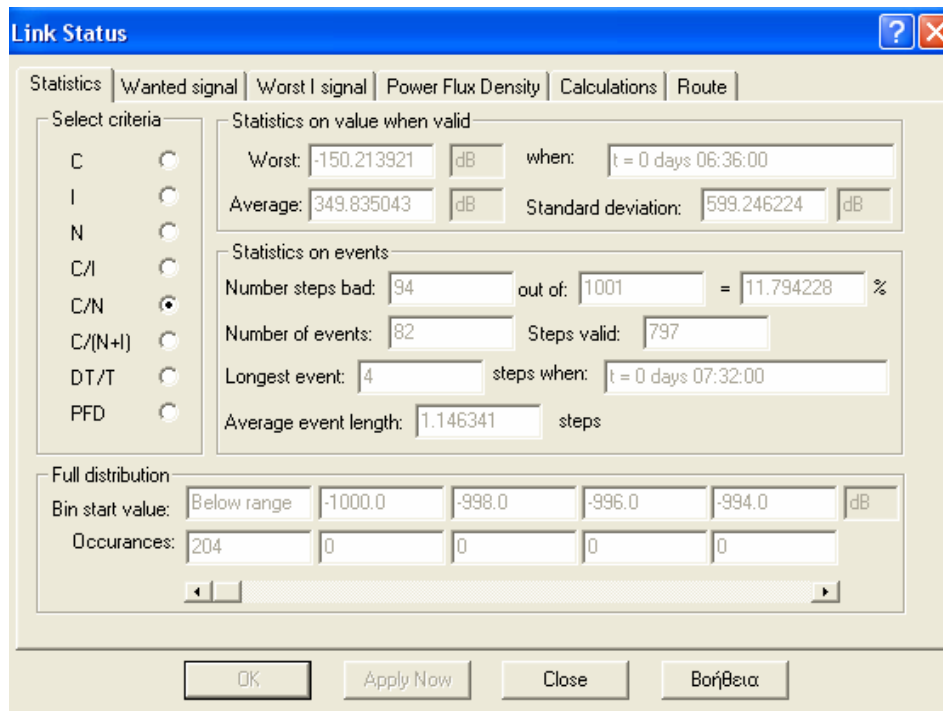
Bin start value: Below range 0.0 2.0 4.0 6.0 dB
 Occurances: 295 1 0 0 0

OK Apply Now Close Βοήθεια

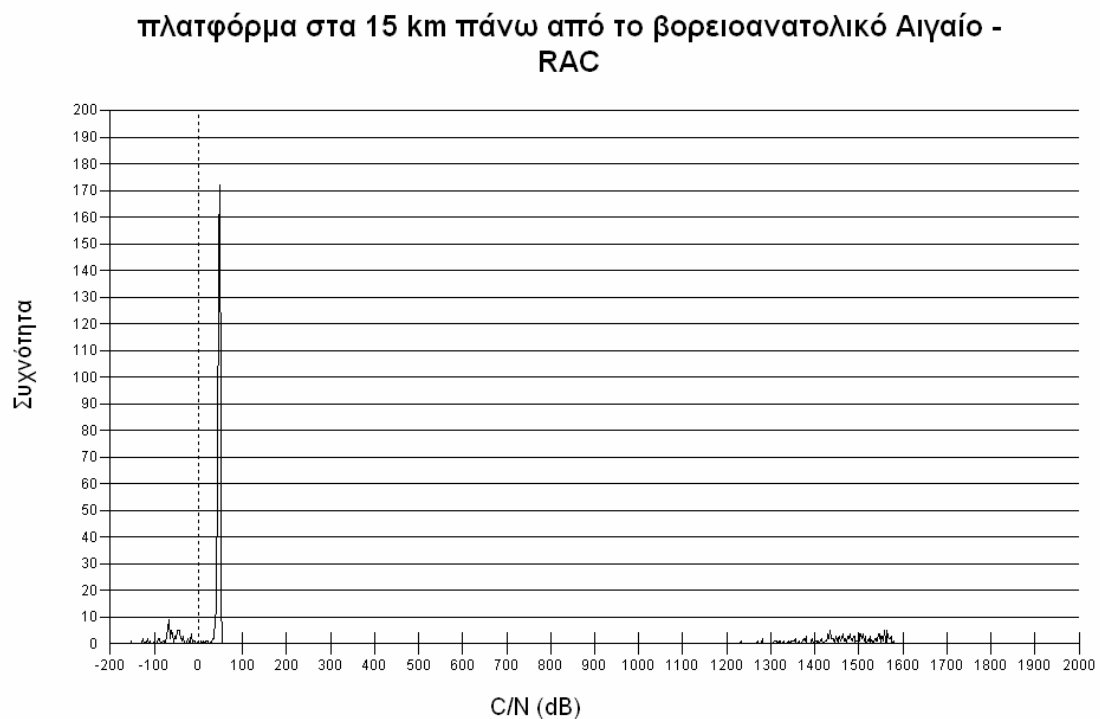
Σχήμα 7.109 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Βορειοανατολικό Αιγαίο (15 km – RAC - 384 kbps)



Διάγραμμα 7.94 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.110 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Βορειοανατολικό Αιγαίο (15 km – RAC - 2000 kbps)



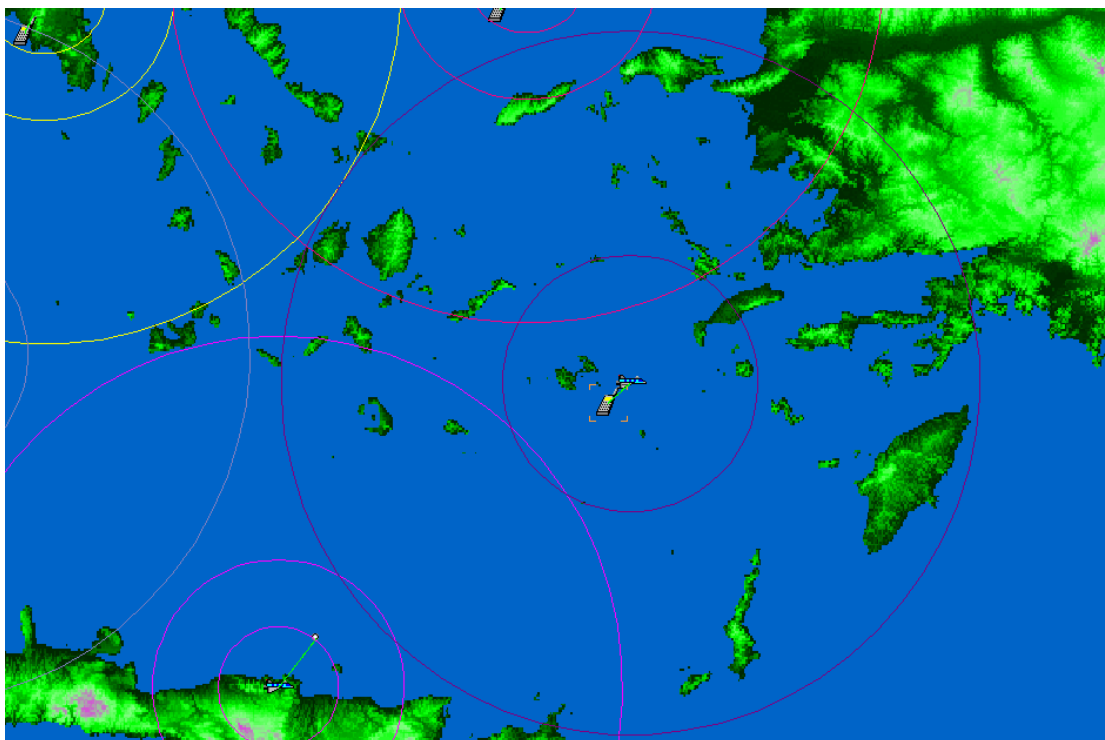
Διάγραμμα 7.95 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

Παρατηρούμε πως όπως και για τις πλατφόρμες που βρίσκονται πάνω από την Ανατολική Μακεδονία και τη Νότια Πελοπόννησο, και στις τρεις ζώνες της περιοχής κάλυψης ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος που υπολογίσαμε είναι πολύ μεγαλύτερος του απαιτούμενου σηματοθορυβικού λόγου των 10.5 dB για μετάδοση τόσο δεδομένων όσο και audio και video.

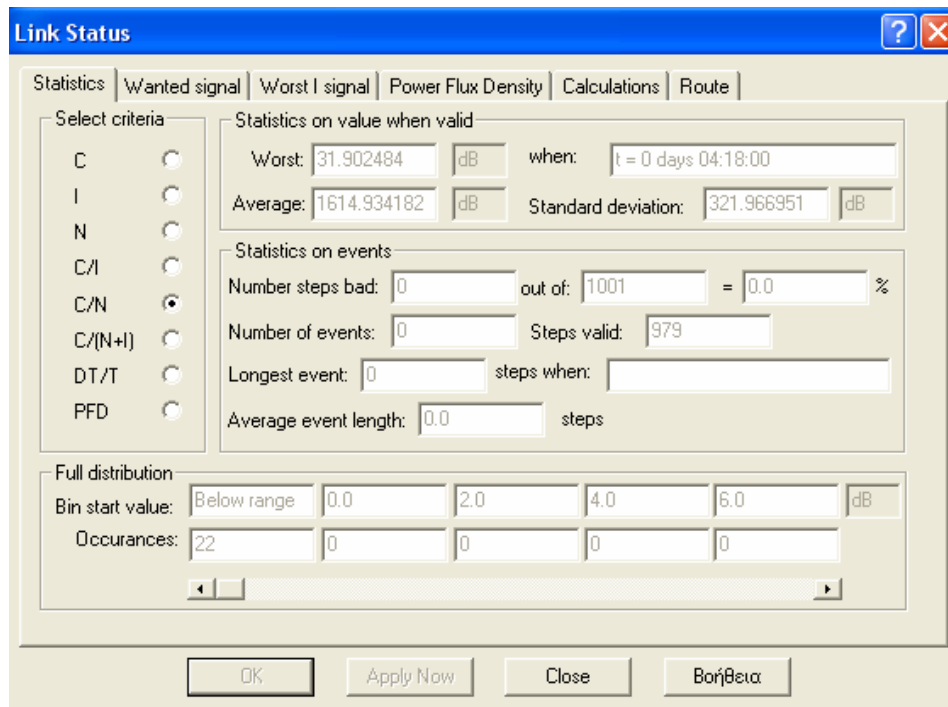
Συγκεκριμένα για ρυθμό μετάδοσης 384 kbps, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 1400.5 dB, μέσο περιθώριο 1390 dB ενώ έχουμε 100% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι 906.33 dB, το μέσο περιθώριο 895.83 dB ενώ 91% των μετρήσεων είναι μεγαλύτερες από 10.5 dB. Στην RAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι 357 dB, το μέσο περιθώριο 346.5 dB ενώ 88.3% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

Για ρυθμό μετάδοσης 2000 kbps, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 1393.32 dB, μέσο περιθώριο 1382.82 dB ενώ έχουμε 99.9% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι 899.16 dB, το μέσο περιθώριο 888.66 dB ενώ 91% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 349.835 dB, μέσο περιθώριο 339.335 dB ενώ 88.21% των μετρήσεων είναι μεγαλύτερες από 10.5 dB.

- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από τα Δωδεκάνησα και τις Κυκλάδες έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

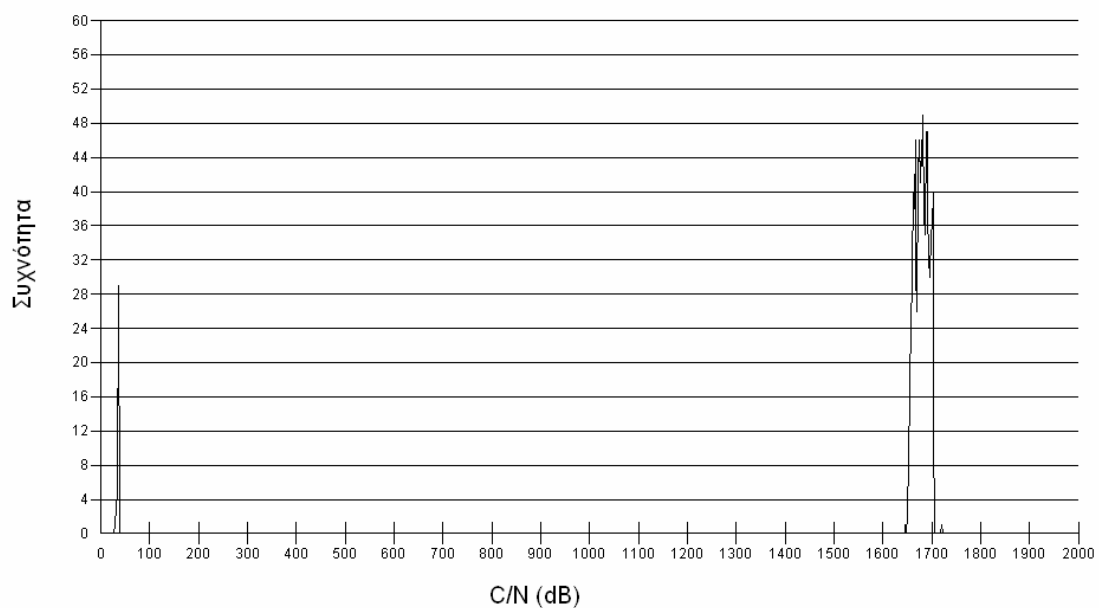


Σχήμα 7.111 Πλατφόρμα στα 15 km πάνω από τα Δωδεκάνησα και τις Κυκλάδες

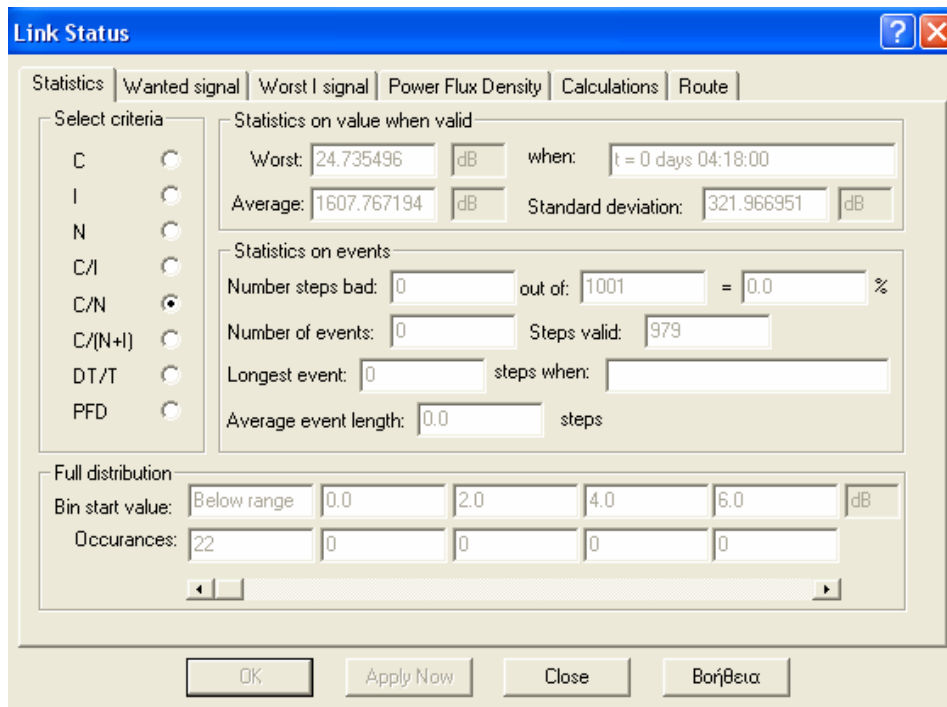


Σχήμα 7.112 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τα Δωδεκάνησα και τις Κυκλάδες (15 km – UAC - 384 kbps)

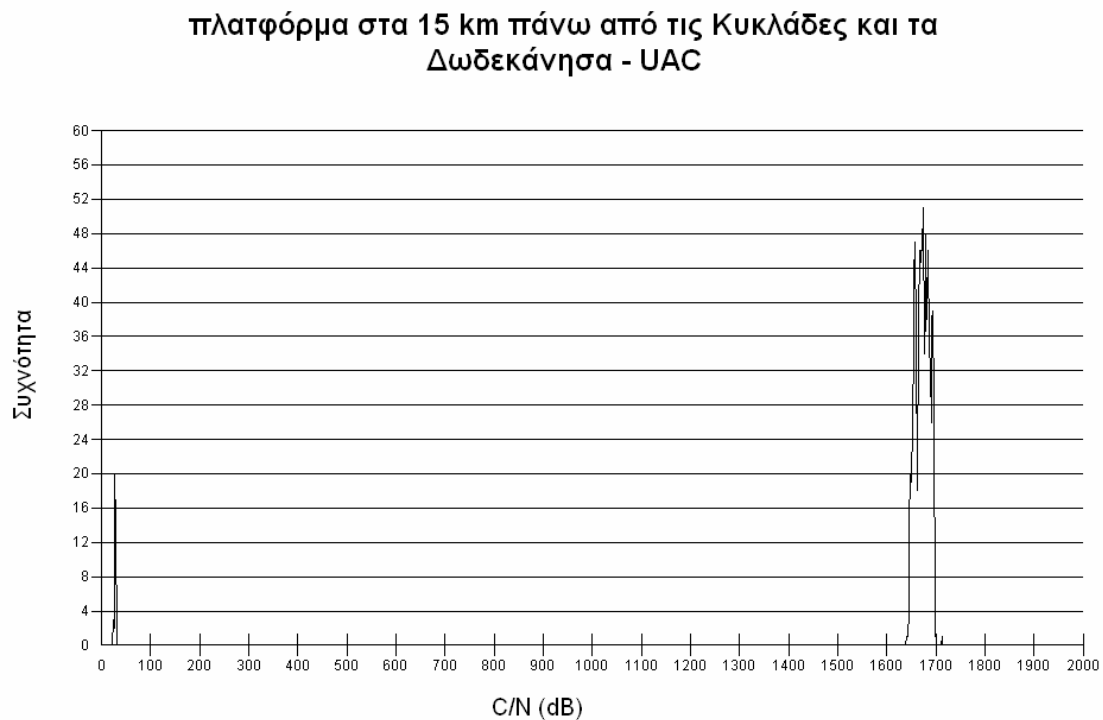
πλατφόρμα στα 15 km πάνω από τις Κυκλάδες και τα Δωδεκάνησα - UAC



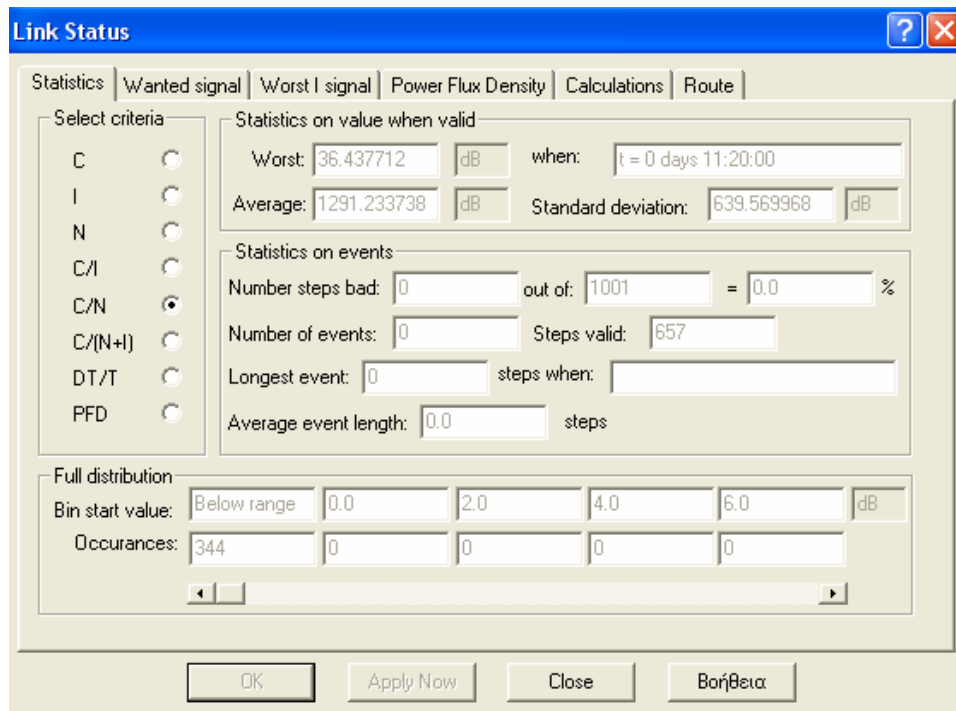
Διάγραμμα 7.96 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



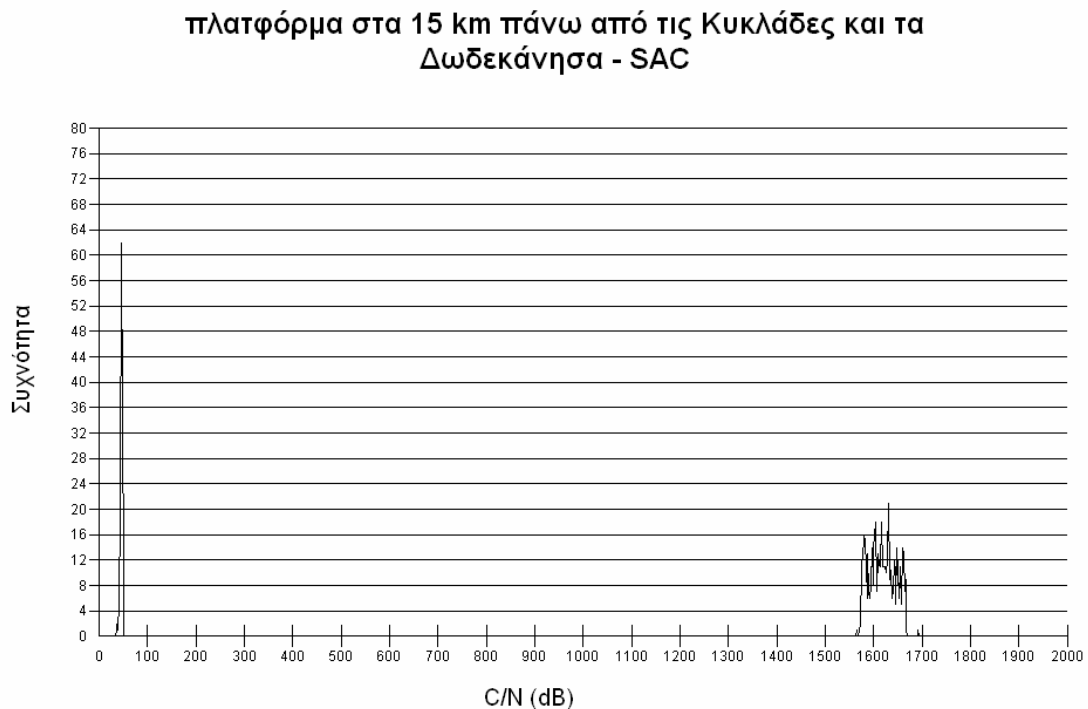
Σχήμα 7.113 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τα Δωδεκάνησα και τις Κυκλάδες (15 km – UAC -2000 kbps)



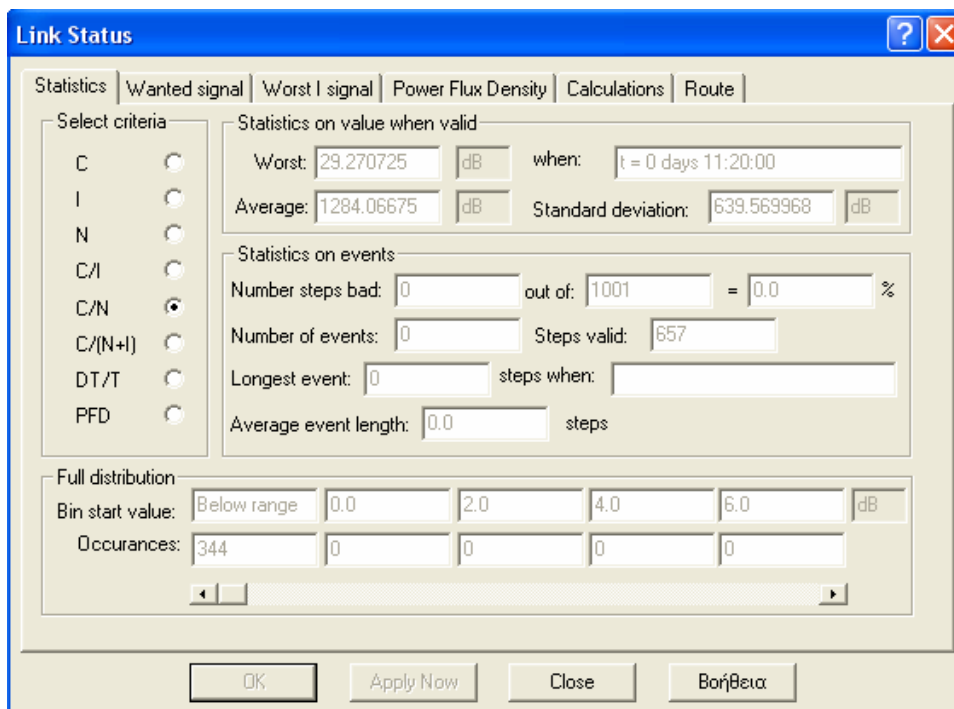
Διάγραμμα 7.97 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



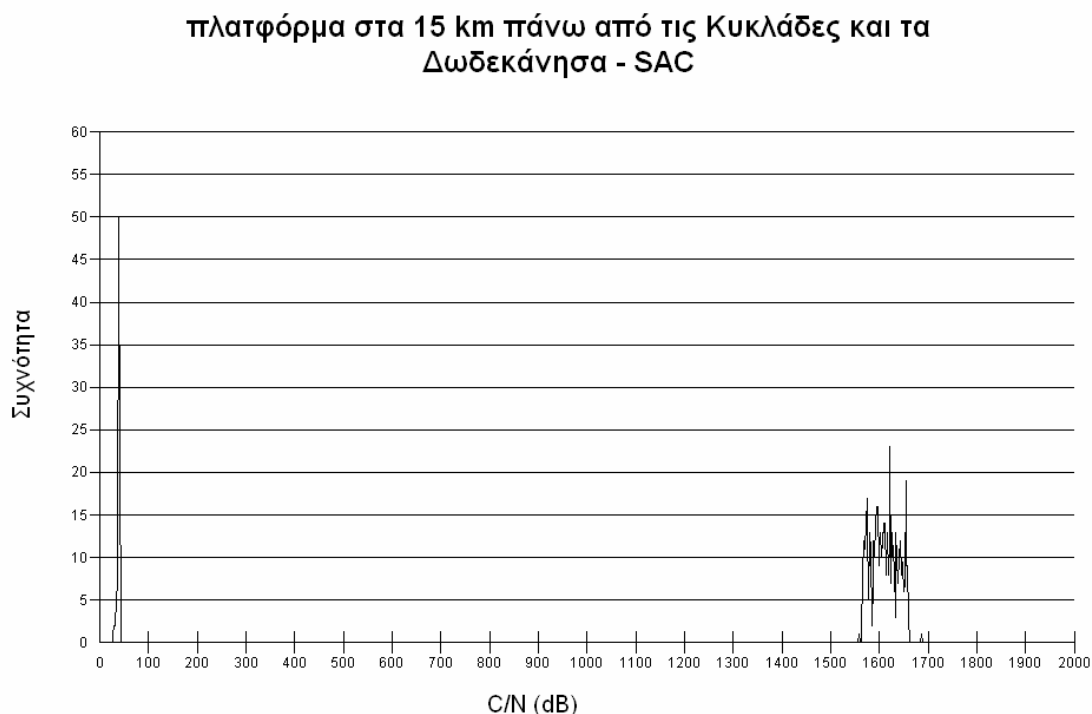
Σχήμα 7.114 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τα Δωδεκάνησα και τις Κυκλάδες (15 km – SAC - 384 kbps)



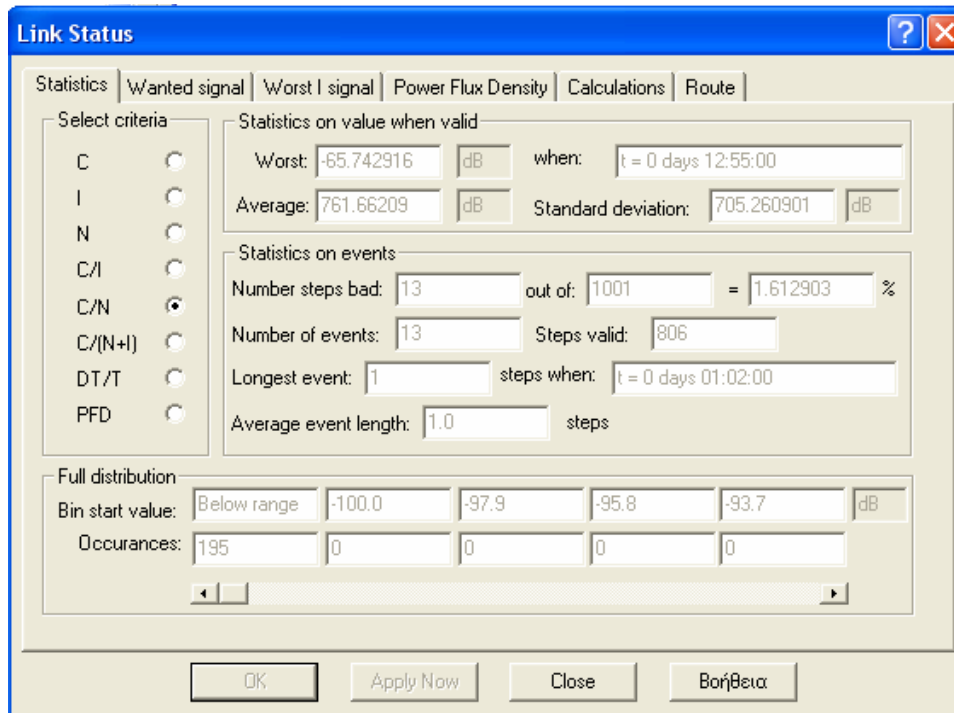
Διάγραμμα 7.98 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.115 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τα Δωδεκάνησα και τις Κυκλάδες (15 km – SAC - 2000 kbps)

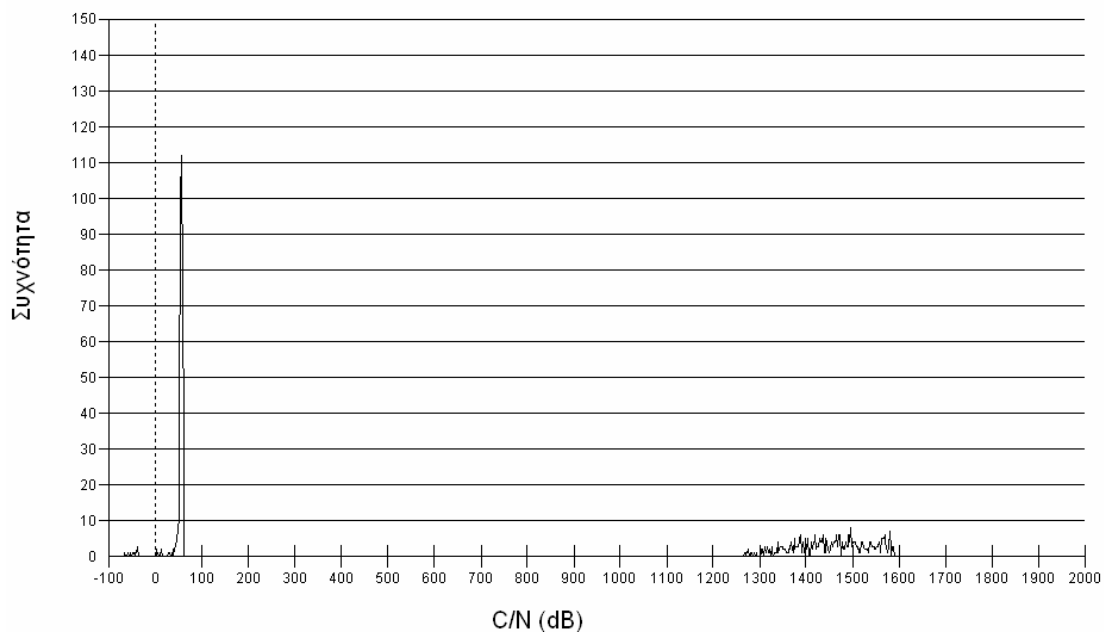


Διάγραμμα 7.99 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.116 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τα Δωδεκάνησα και τις Κυκλάδες (15 km – RAC - 384 kbps)

πλατφόρμα στα 15 km πάνω από τις Κυκλάδες και τα Δωδεκάνησα - RAC



Διάγραμμα 7.100 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

Link Status [?] [X]

Statistics | Wanted signal | Worst I signal | Power Flux Density | Calculations | Route

Select criteria

C

I

N

C/I

C/N

C/(N+I)

DT/T

PFD

Statistics on value when valid

Worst: -72.909903 dB when: t = 0 days 12:55:00

Average: 754.495103 dB Standard deviation: 705.260901 dB

Statistics on events

Number steps bad: 15 out of: 1001 = 1.861042 %

Number of events: 15 Steps valid: 806

Longest event: 1 steps when: t = 0 days 00:05:00

Average event length: 1.0 steps

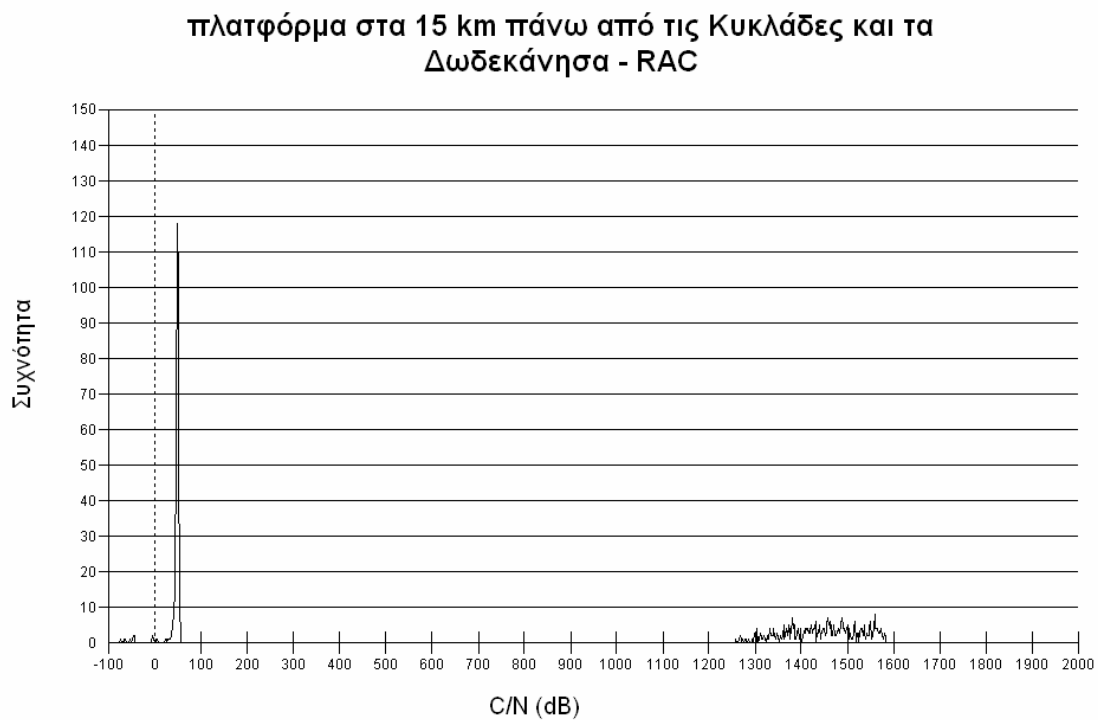
Full distribution

Bin start value: Below range -100.0 -97.9 -95.8 -93.7 dB

Occurrences: 195 0 0 0 0

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 7.117 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τα Δωδεκάνησα και τις Κυκλάδες (15 km – RAC - 2000 kbps)



Διάγραμμα 7.101 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

Παρατηρούμε πως και στις τρεις ζώνες της περιοχής κάλυψης ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος που υπολογίσαμε είναι μεγαλύτερος του απαιτούμενου σηματοθορυβικού λόγου των 10.5 dB για μετάδοση τόσο δεδομένων όσο και audio και video.

Συγκεκριμένα στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 1614.9 dB, μέσο περιθώριο 1604.4 dB ενώ έχουμε 100% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι 1291.2 dB, το μέσο περιθώριο 1280.7 dB ενώ έχουμε 100% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 761.7 dB, μέσο περιθώριο 751.2 dB ενώ έχουμε 98.4% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

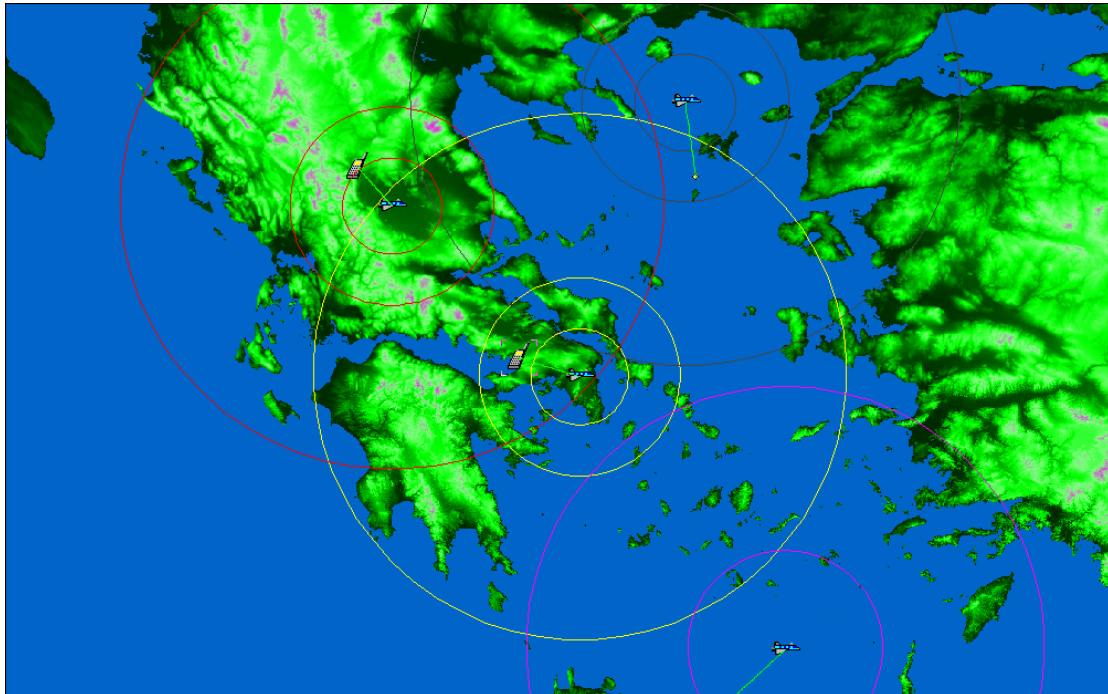
Για ρυθμό μετάδοσης 2000 kbps, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 1607.77 dB, μέσο περιθώριο 1597.27 dB ενώ έχουμε 100% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι 1284 dB, το μέσο περιθώριο 1273.5 dB ενώ έχουμε 100% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 754.5 dB, μέσο περιθώριο 744 dB ενώ έχουμε 98.14% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

Σε όλες τις ζώνες κάλυψης ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι ιδιαίτερα μεγάλος, δημιουργώντας ένα πολύ ικανοποιητικό μέσο περιθώριο και καθιστώντας ιδιαίτερα επιτυχημένη επίδοση των ζεύξεων. Όπως και για τις υπόλοιπες περιοχές όμως στις οποίες παρουσιάζεται το ίδιο φαινόμενο, αξίζει να σημειώσουμε ότι κρίνοντας μόνο από το μέσο σηματοθορυβικό λόγο, εξάγουμε υπεραισιόδοξα συμπεράσματα για τη λειτουργία του συστήματος αφού η ύπαρξη κάποιων πολύ υψηλών μετρήσεων εκτοξεύει σε πολύ υψηλά επίπεδα και το μέσο σηματοθορυβικό λόγο ενώ η πλειονότητα των μετρήσεων κυμαίνεται σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα όπως απεικονίζεται και στα παραπάνω διαγράμματα. Οι πολύ υψηλές μετρήσεις οφείλονται στην ανάκλαση του σήματος στη θάλασσα και στην αθροιστική συμβολή στο λαμβανόμενο σήμα. Οι επιδόσεις των ζεύξεων όμως στις Κυκλάδες και τα Δωδεκάνησα εξακολουθούν να κρίνονται ιδιαίτερα ικανοποιητικές, όπως φαίνεται και από τα ποσοστά των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB που παραθέσαμε.

7.5 3^ο σενάριο: Ραδιοκάλυψη με τις πλατφόρμες τοποθετημένες στα 25 km και μελέτη του λόγου E_b/N_0

Χρησιμοποιώντας το σενάριο της ραδιοκάλυψης για τα 25 km , υπολογίσαμε το σηματοθορυβικό λόγο στην ζώνη κάλυψης της κάθε πλατφόρμας. Στη συνέχεια, συγκρίναμε τα παραπάνω αποτελέσματα με τον απαιτούμενο σηματοθορυβικό λόγο για μετάδοση δεδομένων, ήχου και κινούμενης εικόνας.

- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από την Αθήνα έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



Σχήμα 7.118 Πλατφόρμα στα 25 km πάνω από την Αθήνα

Link Status [?] [X]

Statistics | Wanted signal | Worst I signal | Power Flux Density | Calculations | Route

Select criteria:

- C
- I
- N
- C/I
- C/N
- C/(N+I)
- DT/T
- PFD

Statistics on value when valid:

Worst: 22.554703 dB when: t = 0 days 02:18:00

Average: 32.083827 dB Standard deviation: 1.979381 dB

Statistics on events:

Number steps bad: 0 out of: 1001 = 0.0 %

Number of events: 0 Steps valid: 250

Longest event: 0 steps when:

Average event length: 0.0 steps

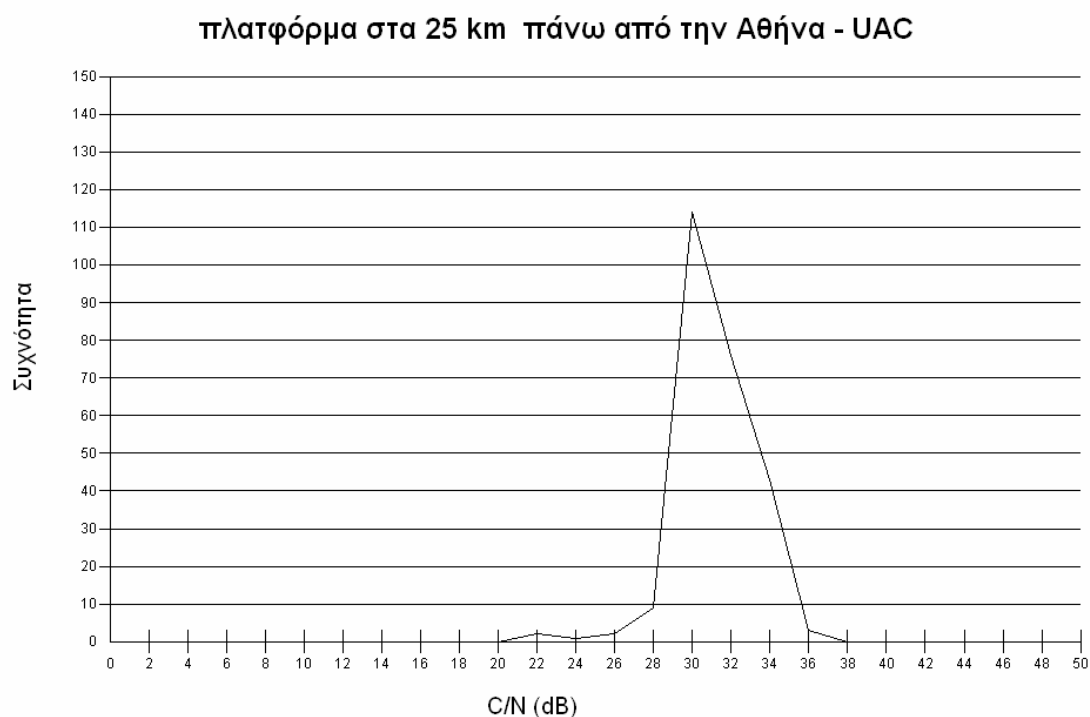
Full distribution:

Bin start value: Below range -1000.0 -998.0 -996.0 -994.0 dB

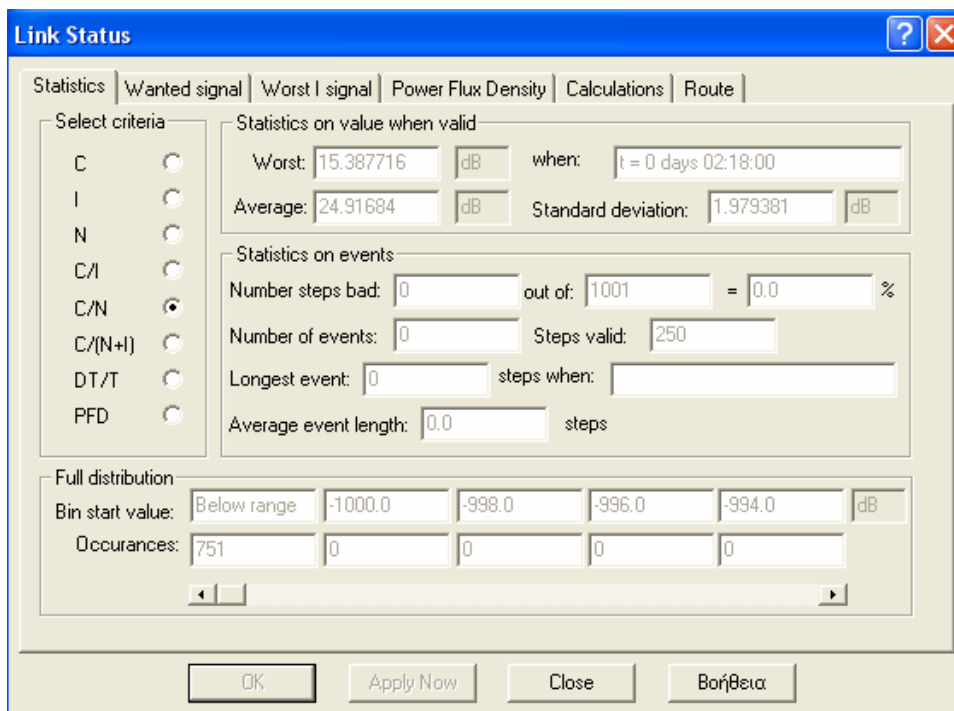
Occurrences: 751 0 0 0 0

OK Apply Now Close Βοήθεια

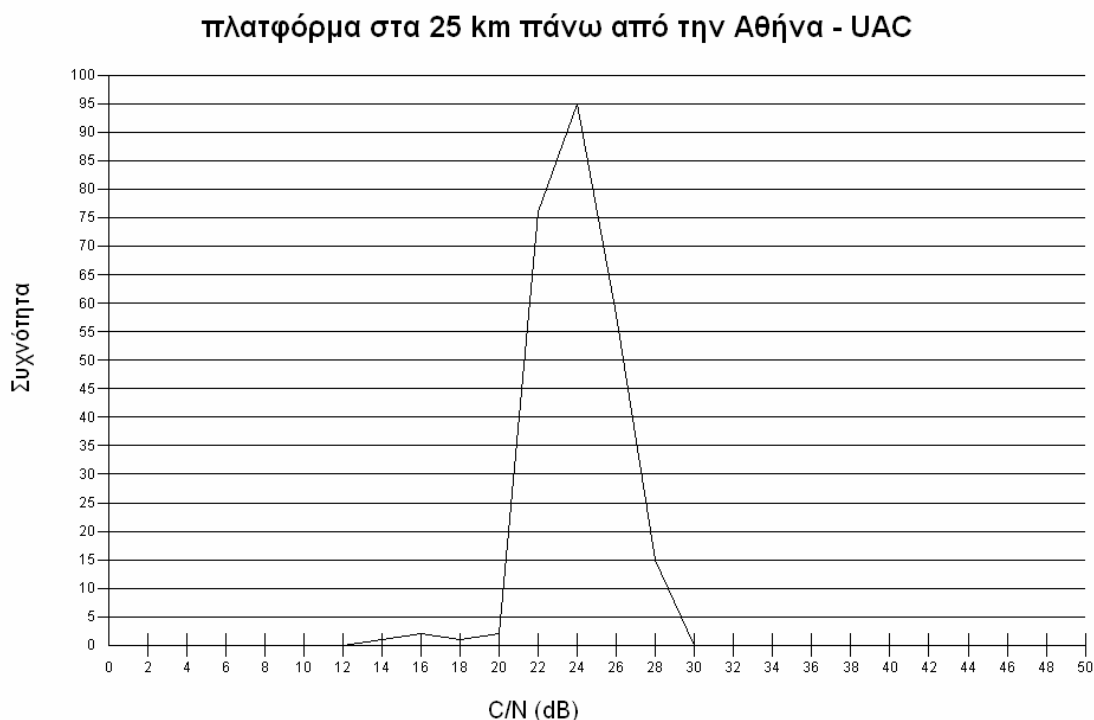
Σχήμα 7.119 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (25 km – UAC - 384 kbps)



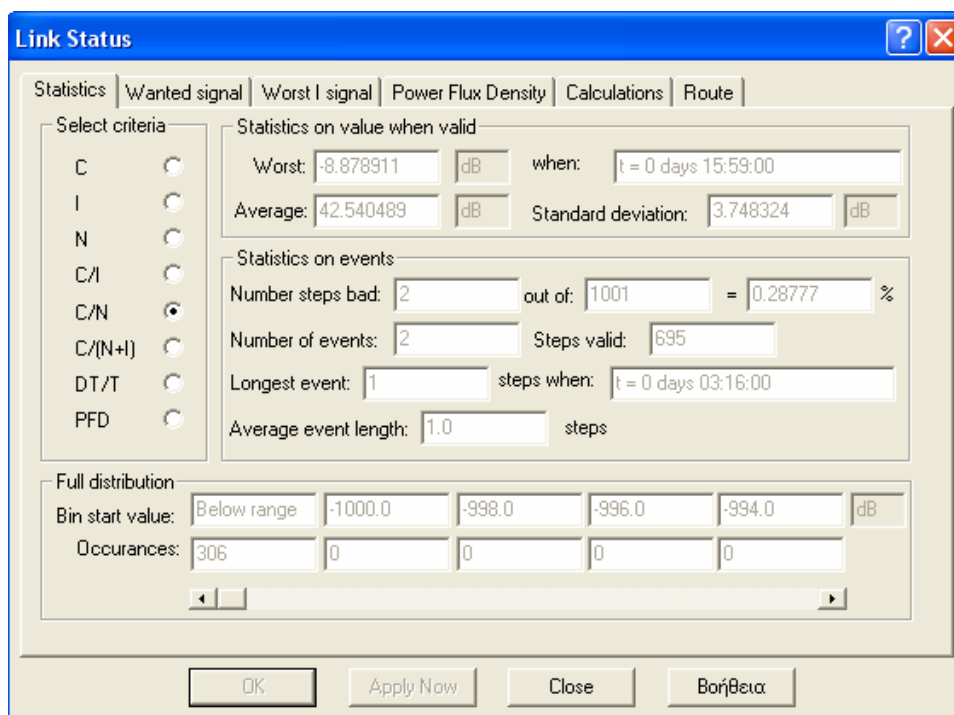
Διάγραμμα 7.102 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



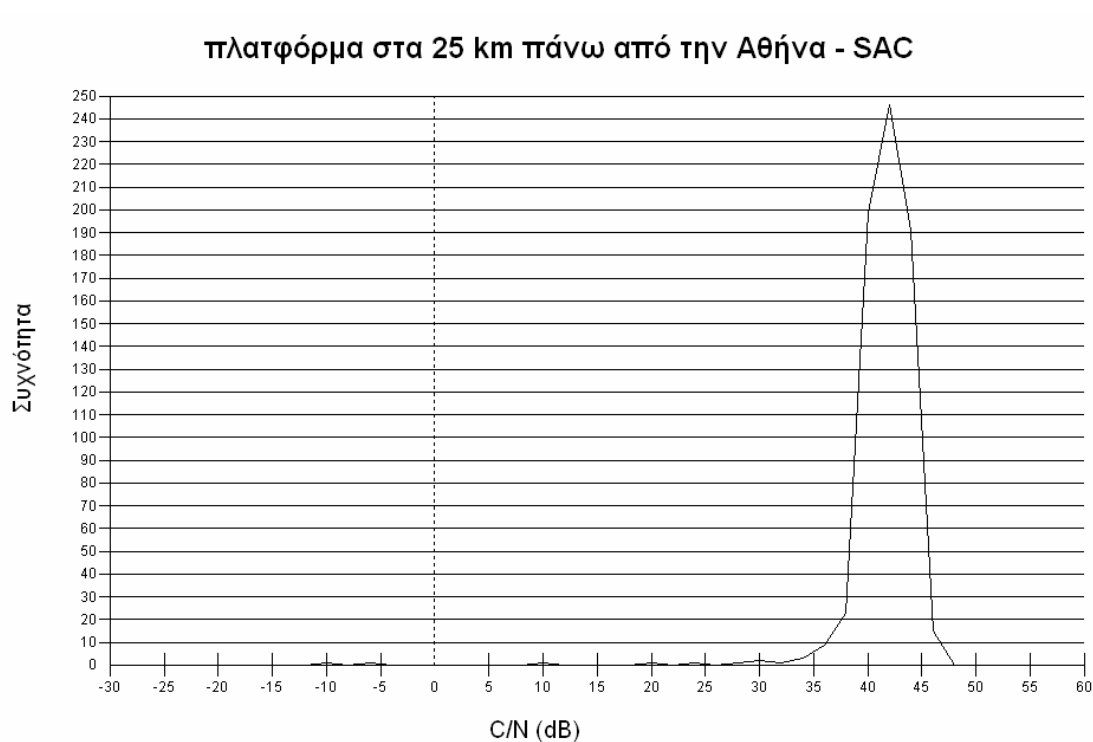
Σχήμα 7.120 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (25 km – UAC -2000 kbps)



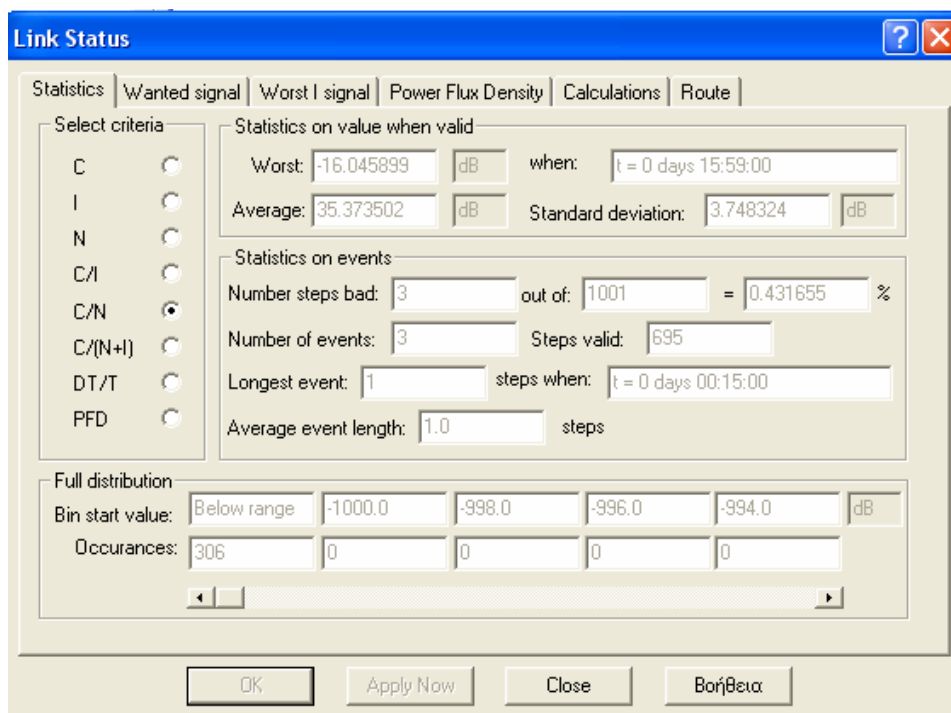
Διάγραμμα 7.103 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



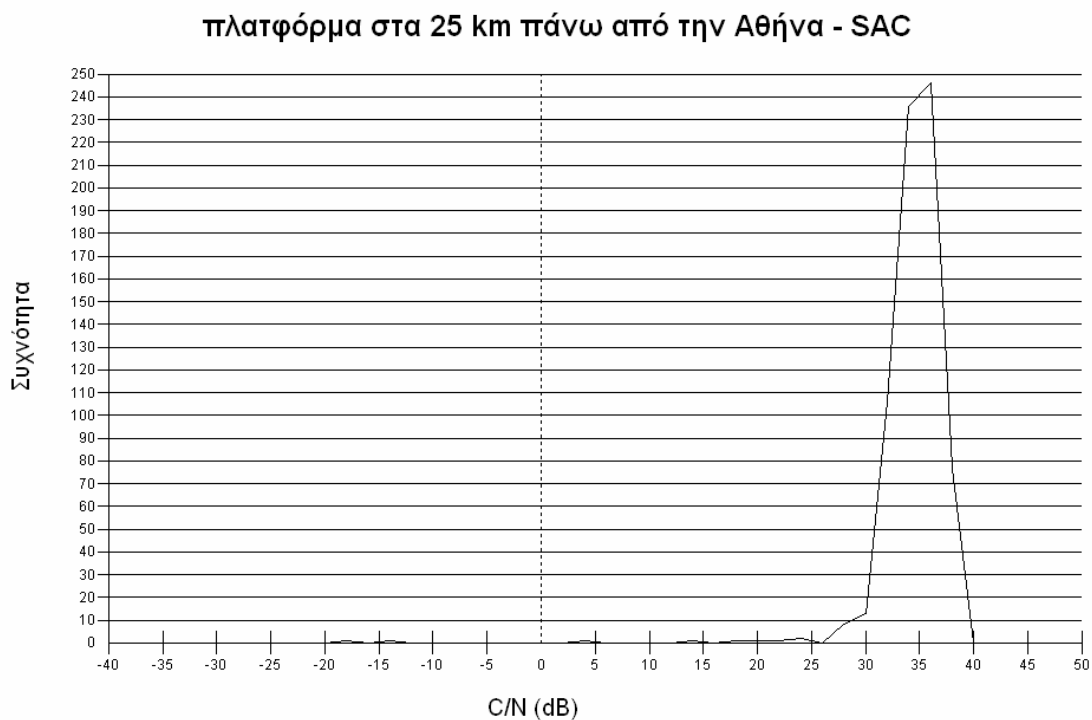
Σχήμα 7.121 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (25 km – SAC - 384 kbps)



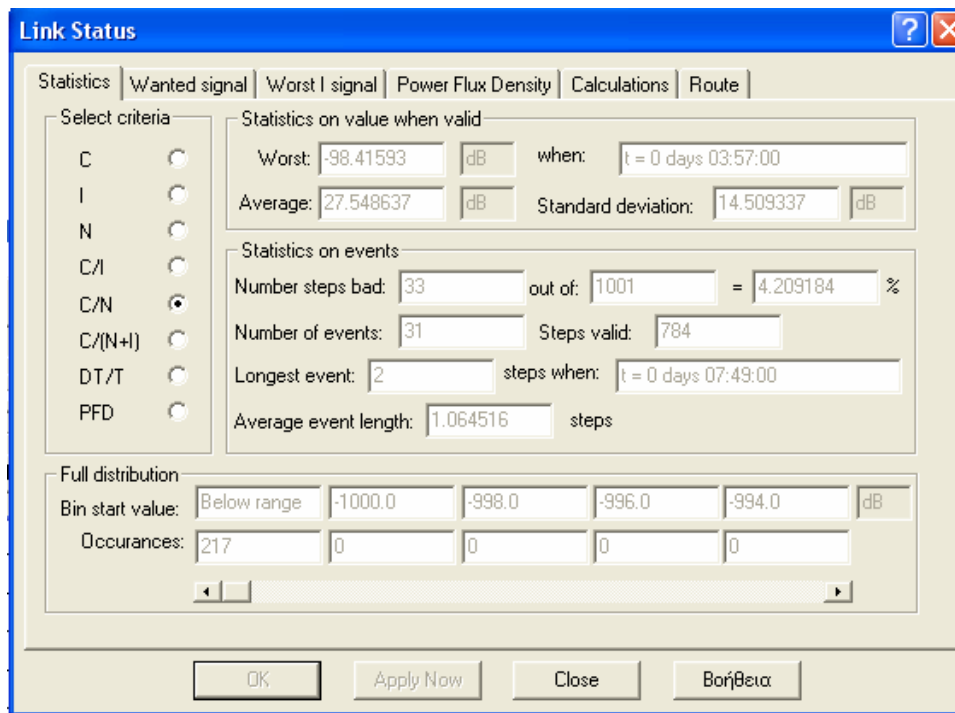
Διάγραμμα 7.104 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.122 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (25 km – SAC - 2000 kbps)

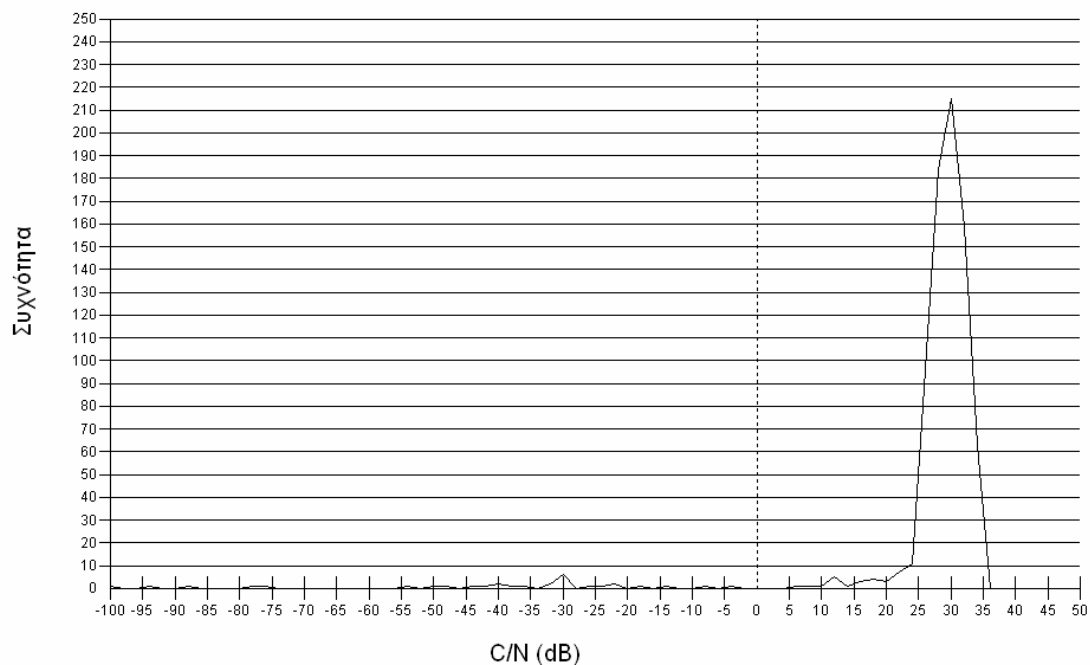


Διάγραμμα 7.105 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

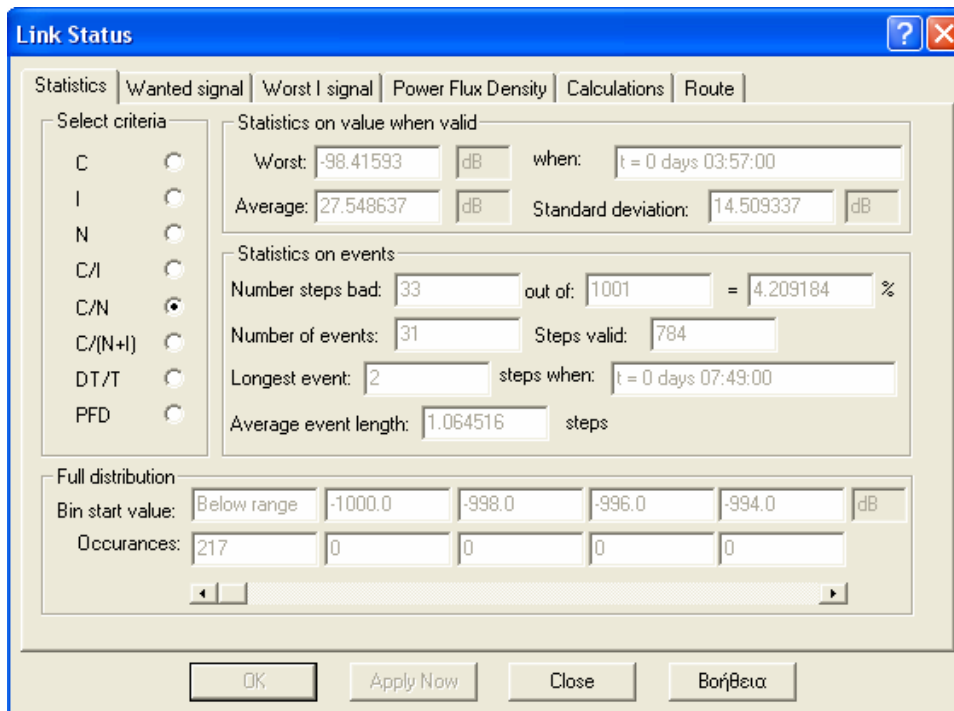


Σχήμα 7.123 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (25 km – RAC - 384 kbps)

πλατφόρμα στα 25 km πάνω από την Αθήνα - RAC

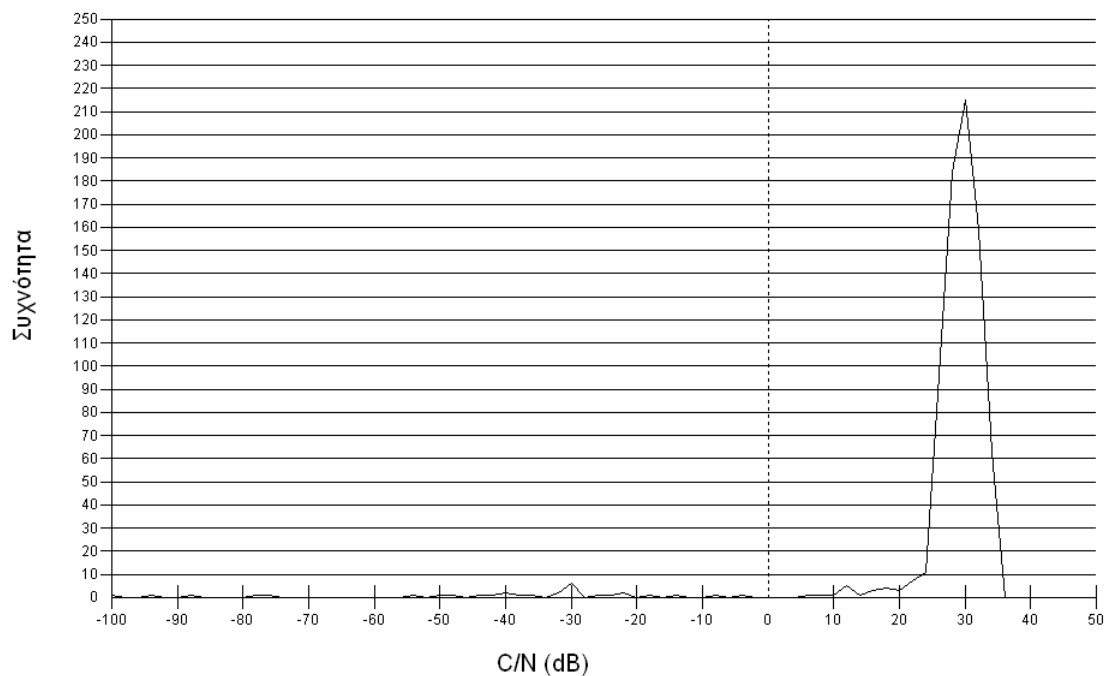


Διάγραμμα 7.106 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.124 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (25 km – RAC - 2000 kbps)

πλατφόρμα στα 25 km πάνω από την Αθήνα - RAC



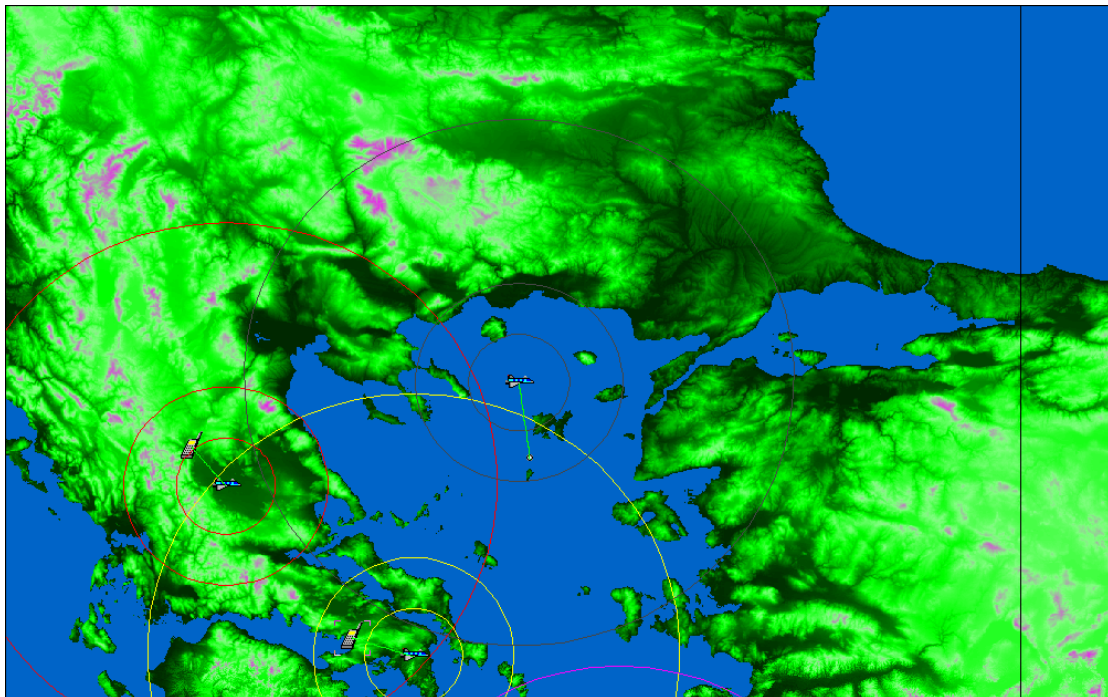
Διάγραμμα 7.107 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

Παρατηρούμε πως και στις τρεις ζώνες της περιοχής κάλυψης ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος που υπολογίσαμε είναι μεγαλύτερος του απαιτούμενου σηματοθορυβικού λόγου των 10.5 dB για μετάδοση τόσο δεδομένων όσο και audio και video.

Συγκεκριμένα για ρυθμό μετάδοσης 384 kbps, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 32.08 dB, μέσο περιθώριο 21.58 dB ενώ έχουμε 100% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι 42.54 dB, μέσο περιθώριο 32.04 dB ενώ έχουμε 99.71% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 27.55 dB, μέσο περιθώριο 17.05 dB ενώ 95.8% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

Για ρυθμό μετάδοσης 2000 kbps, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 24.92 dB, μέσο περιθώριο 14.42 dB ενώ 100% των μετρήσεων είναι μεγαλύτερες από 10.5 dB. Στην SAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 35.37 dB, μέσο περιθώριο 24.87 dB ενώ έχουμε 99.57% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 27.55 dB, μέσο περιθώριο 17.05 dB ενώ 95.8% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από τη βορειοανατολική Ελλάδα έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



Σχήμα 7.125 Πλατφόρμα στα 25 km πάνω από τη Βορειοανατολική Ελλάδα

Link Status [?] [X]

Statistics | Wanted signal | Worst I signal | Power Flux Density | Calculations | Route

Select criteria:

- C
- I
- N
- C/I
- C/N
- C/(N+I)
- DT/T
- PFD

Statistics on value when valid:

Worst: 28.801137 dB when: t = 0 days 03:12:00

Average: 2055.301073 dB Standard deviation: 347.441202 dB

Statistics on events:

Number steps bad: 0 out of: 1001 = 0.0 %

Number of events: 0 Steps valid: 282

Longest event: 0 steps when:

Average event length: 0.0 steps

Full distribution:

Bin start value: Below range 0.0 2.5 5.0 7.5 dB

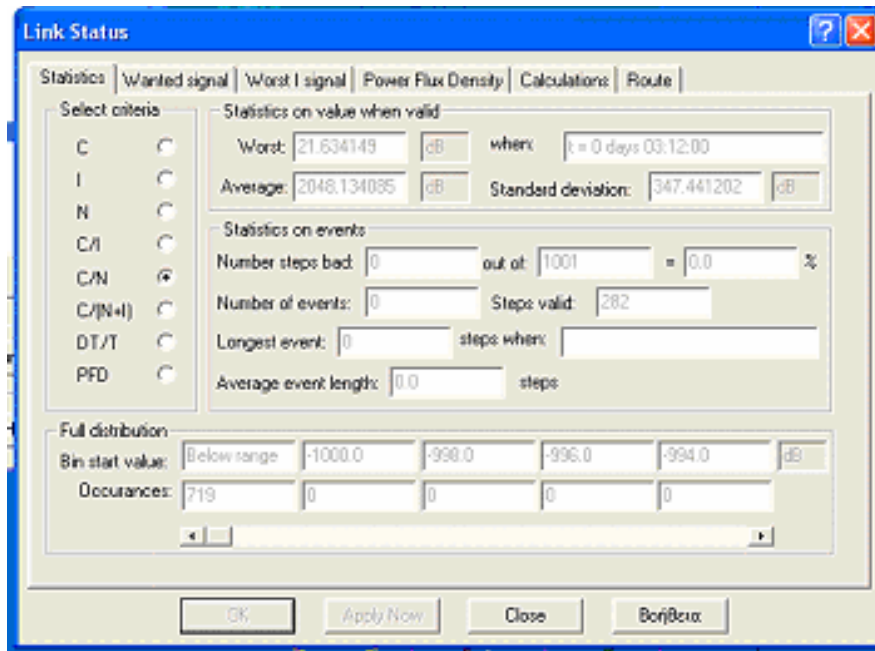
Occurrences: 719 0 0 0 0

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 7.126 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Βορειοανατολική Ελλάδα (25 km – UAC - 384 kbps)



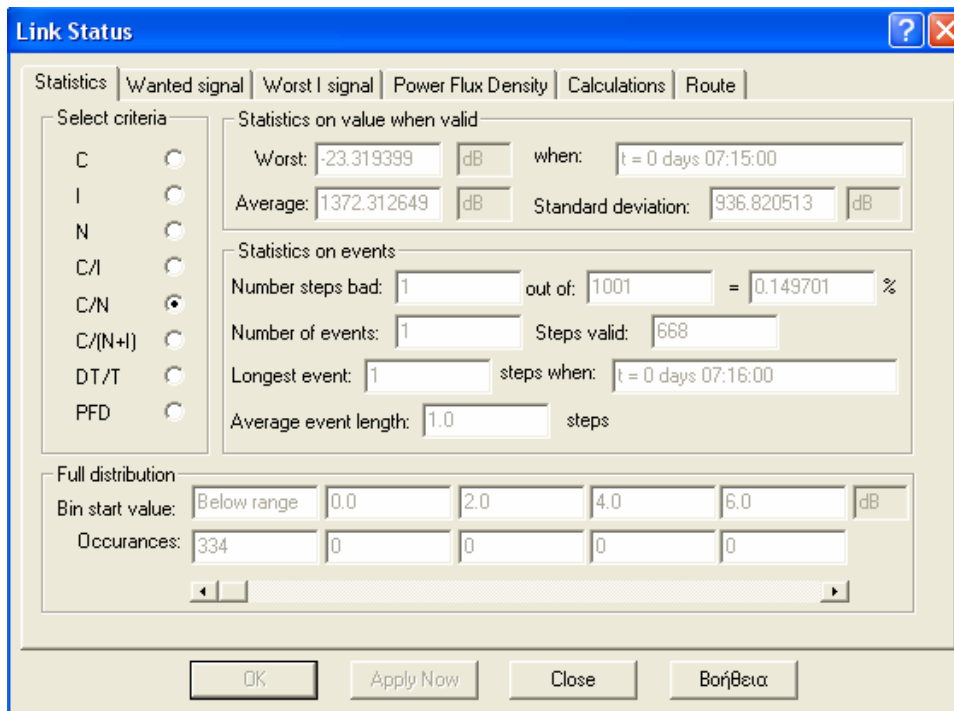
Διάγραμμα 7.108 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.127 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Βορειοανατολική Ελλάδα (25 km – UAC -2000 kbps)



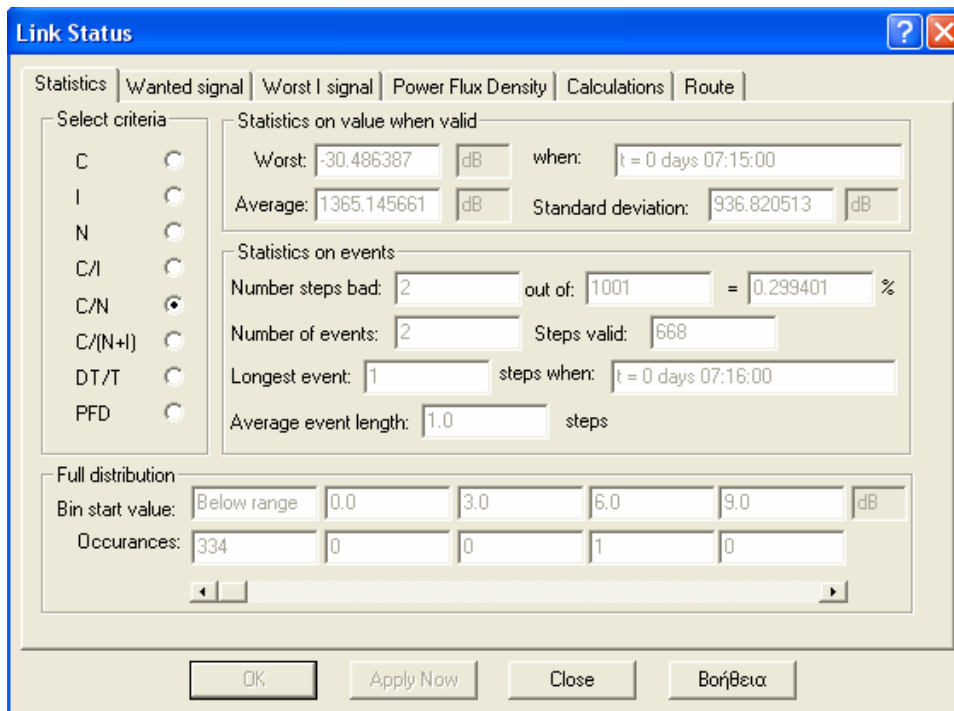
Διάγραμμα 7.109 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.128 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Βορειοανατολική Ελλάδα (25 km – SAC - 384 kbps)

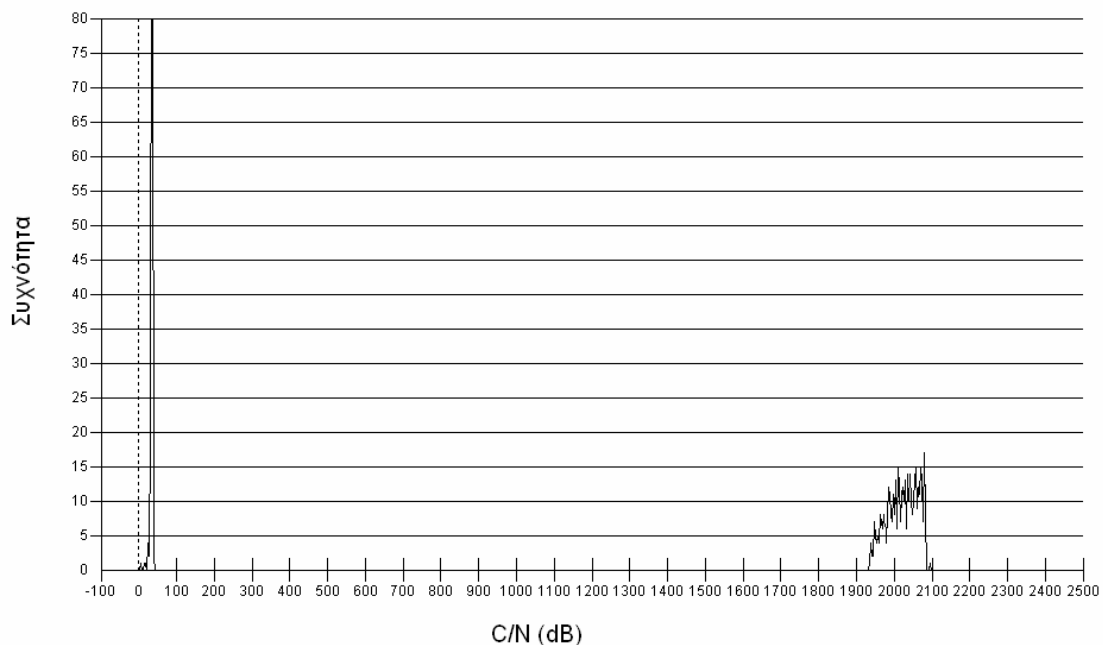


Διάγραμμα 7.110 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

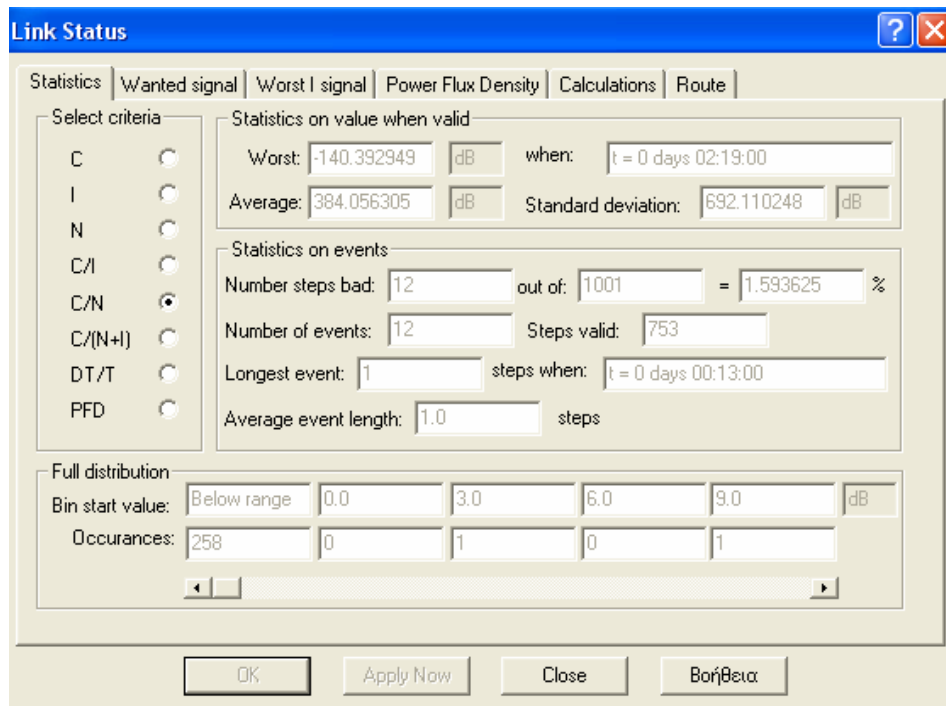


Σχήμα 7.129 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Βορειοανατολική Ελλάδα (25 km – SAC - 2000 kbps)

πλατφόρμα στα 25 km πάνω από την ανατολική Μκεδονία - SAC

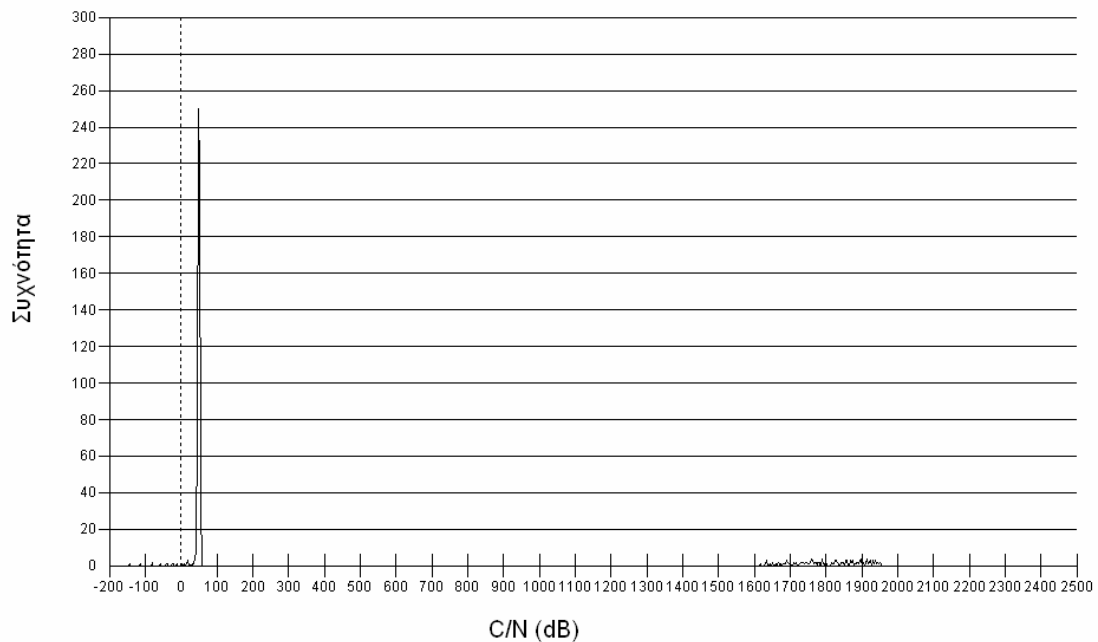


Διάγραμμα 7.111 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.130 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Βορειοανατολική Ελλάδα (25 km – RAC - 384 kbps)

πλατφόρμα στα 25 km πάνω από την ανατολική Μακεδονία - RAC



Διάγραμμα 7.112 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

Link Status [?] [X]

Statistics | Wanted signal | Worst I signal | Power Flux Density | Calculations | Route

Select criteria

C

I

N

C/I

C/N

C/(N+I)

DT/T

PFD

Statistics on value when valid

Worst: -140.392949 dB when: t = 0 days 02:19:00

Average: 384.056305 dB Standard deviation: 692.110248 dB

Statistics on events

Number steps bad: 12 out of: 1001 = 1.593625 %

Number of events: 12 Steps valid: 753

Longest event: 1 steps when: t = 0 days 00:13:00

Average event length: 1.0 steps

Full distribution

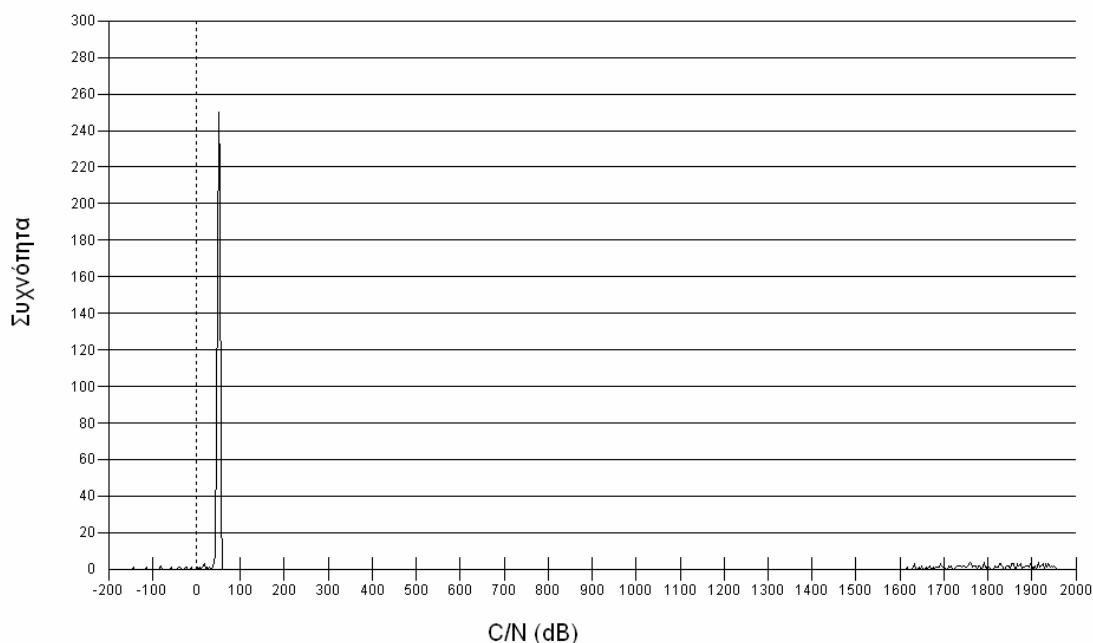
Bin start value: Below range 0.0 3.0 6.0 9.0 dB

Occurrences: 258 0 1 0 1

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 7.131 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Βορειοανατολική Ελλάδα (25 km – RAC - 2000 kbps)

πλατφόρμα στα 25 km πάνω από την ανατολική Μακεδονία - RAC



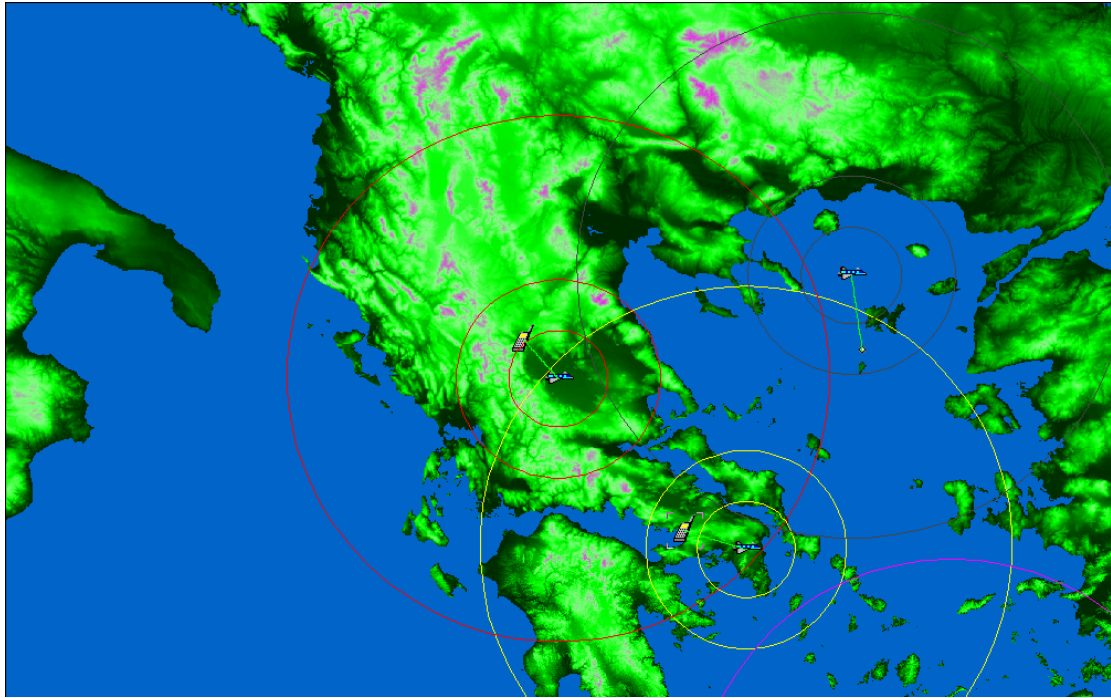
Διάγραμμα 7.113 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

Παρατηρούμε πως σε όλες τις ζώνες κάλυψης ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι ιδιαίτερα μεγάλος, δημιουργώντας ένα πολύ ικανοποιητικό μέσο περιθώριο και καθιστώντας ιδιαίτερα επιτυχημένη επίδοση των ζεύξεων. Κρίνοντας όμως μόνο από το μέσο σηματοθορυβικό λόγο, εξάγουμε υπεραισιόδοξα συμπεράσματα για τη λειτουργία του συστήματος αφού η ύπαρξη κάποιων πολύ υψηλών μετρήσεων, εκτοξεύει σε πολύ υψηλά επίπεδα και το μέσο σηματοθορυβικό λόγο ενώ η πλειονότητα των μετρήσεων κυμαίνεται σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα όπως απεικονίζεται και στα παραπάνω διαγράμματα. Παρατηρούμε πως όταν ένα μεγάλο μέρος της περιοχής κάλυψης μιας πλατφόρμας αποτελείται από θαλάσσιο χώρο, προκύπτει τιμές του σηματοθορυβικού λόγου ιδιαίτερα μεγάλες. Αυτό οφείλεται στην ανάκλαση του εκπεμπόμενου σήματος στην επιφάνεια της θάλασσας και στην προσθήκη των ανακλώμενων σημάτων σε αυτό που λαμβάνει ο δέκτης.

Οι επιδόσεις των ζεύξεων όμως στην Ανατολική Μακεδονία εξακολουθούν να κρίνονται ιδιαίτερα ικανοποιητικές, όπως φαίνεται και από τα ποσοστά των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB που παραθέσαμε. Συγκεκριμένα για ρυθμό μετάδοσης 384 kbps, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 2055.3dB, μέσο περιθώριο 2044.8 dB ενώ έχουμε 100% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι 1372.3 dB, το μέσο περιθώριο 1361.8 dB ενώ έχουμε 99.85% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 384.1 dB, μέσο περιθώριο 373.6 dB ενώ 98.4% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

Για ρυθμό μετάδοσης 2000 kbps, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 2048.13 dB, μέσο περιθώριο 2037.63 dB ενώ έχουμε 100% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι 1365.15 dB, το μέσο περιθώριο 1354.65 dB ενώ έχουμε 99.7% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 384 dB, μέσο περιθώριο 373.5 dB ενώ 98.4% των μετρήσεων βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από την κεντρική και βορειοδυτική Ελλάδα έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



Σχήμα 7.132 Πλατφόρμα στα 25 km πάνω από την Κεντρική και Βορειοδυτική Ελλάδα

Link Status [?] [X]

Statistics | Wanted signal | Worst I signal | Power Flux Density | Calculations | Route

Select criteria

C

I

N

C/I

C/N

C/(N+I)

DT/T

PFD

Statistics on value when valid

Worst: 25.857563 dB when: t = 0 days 11:40:00

Average: 32.449473 dB Standard deviation: 1.763109 dB

Statistics on events

Number steps bad: 0 out of: 1001 = 0.0 %

Number of events: 0 Steps valid: 263

Longest event: 0 steps when:

Average event length: 0.0 steps

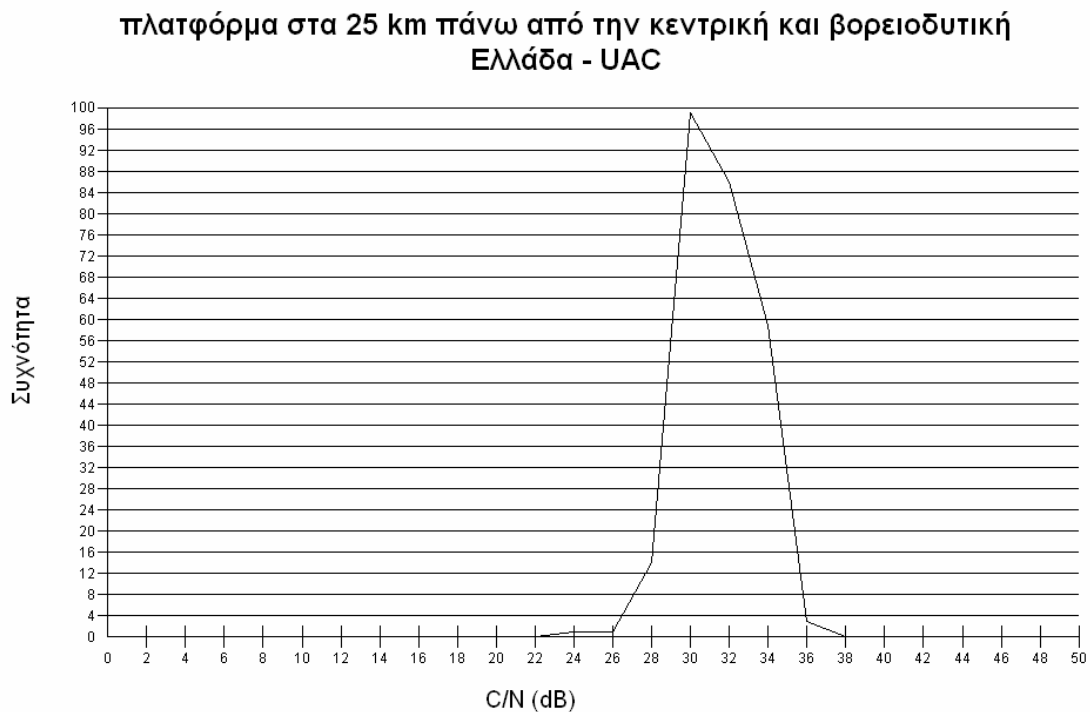
Full distribution

Bin start value: Below range -1000.0 -998.0 -996.0 -994.0 dB

Occurrences: 738 0 0 0 0

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 7.133 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Κεντρική και Βορειοδυτική Ελλάδα (25 km – UAC - 384 kbps)



Διάγραμμα 7.114 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

Link Status [?] [X]

Statistics | Wanted signal | Worst I signal | Power Flux Density | Calculations | Route

Select criteria

C
 I
 N
 C/I
 C/N
 C/(N+I)
 DT/T
 PFD

Statistics on value when valid

Worst: 18.690576 dB when: t = 0 days 11:40:00
 Average: 25.282485 dB Standard deviation: 1.763109 dB

Statistics on events

Number steps bad: 0 out of: 1001 = 0.0 %
 Number of events: 0 Steps valid: 263
 Longest event: 0 steps when:
 Average event length: 0.0 steps

Full distribution

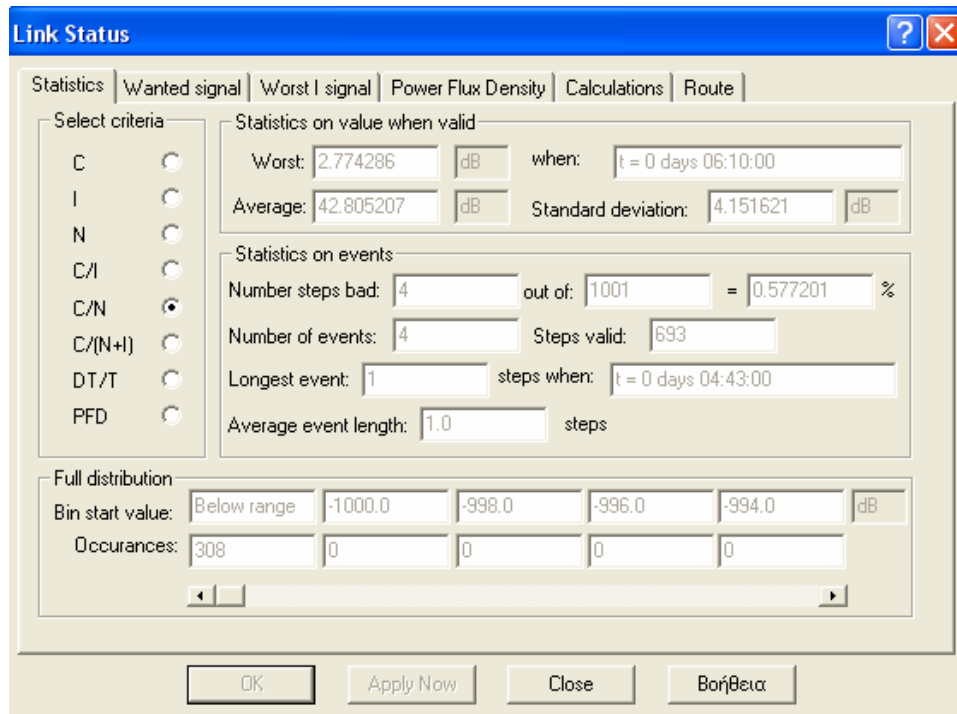
Bin start value: Below range -1000.0 -998.0 -996.0 -994.0 dB
 Occurrences: 738 0 0 0 0

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 7.134 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Κεντρική και Βορειοδυτική Ελλάδα (25 km – UAC -2000 kbps)

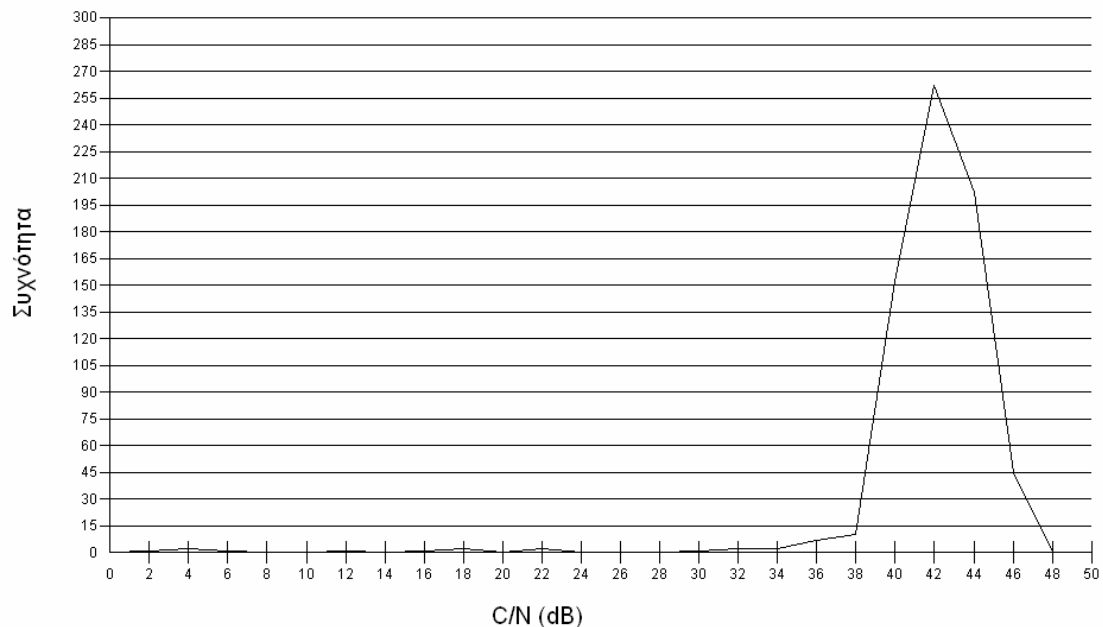


Διάγραμμα 7.115 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

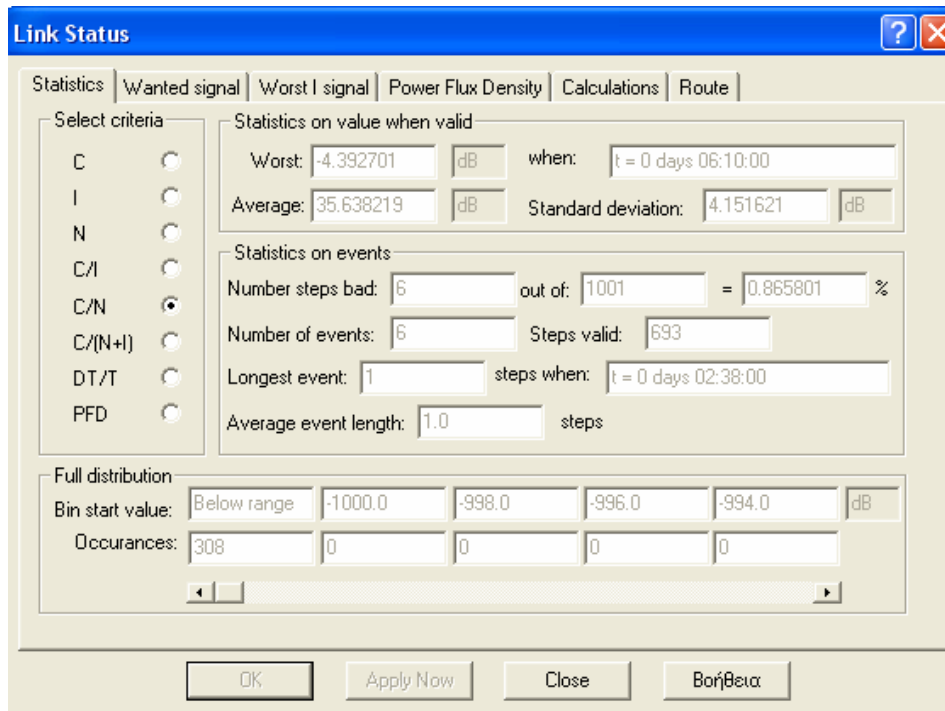


Σχήμα 7.135 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Κεντρική και Βορειοδυτική Ελλάδα (25 km – SAC - 384 kbps)

πλατφόρμα στα 25 km πάνω από την κεντρική και βορειοδυτική Ελλάδα - SAC

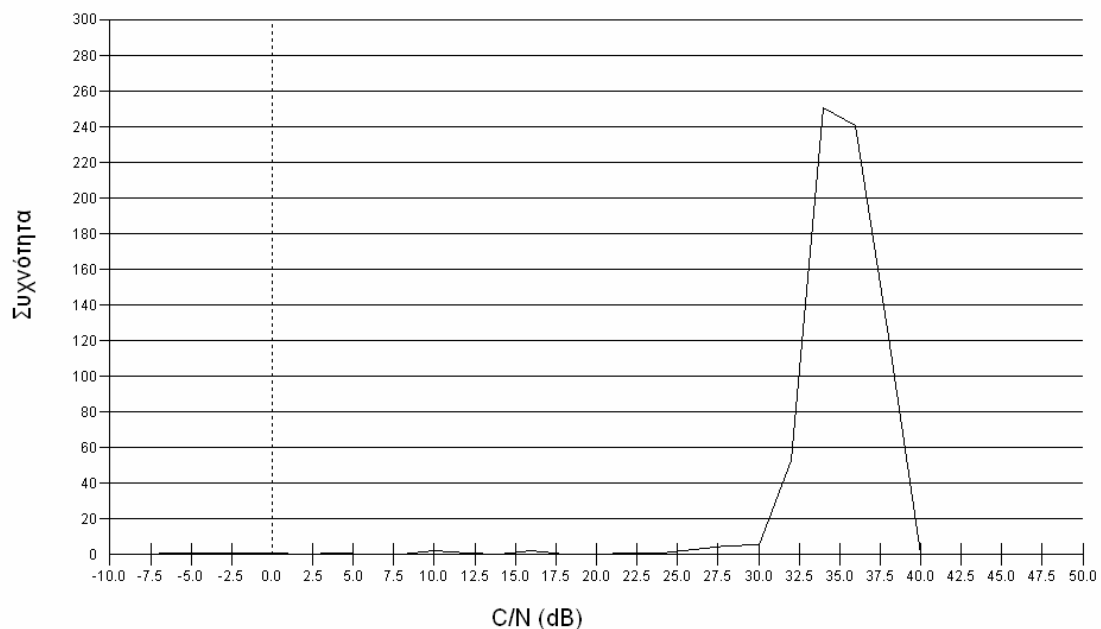


Διάγραμμα 7.116 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

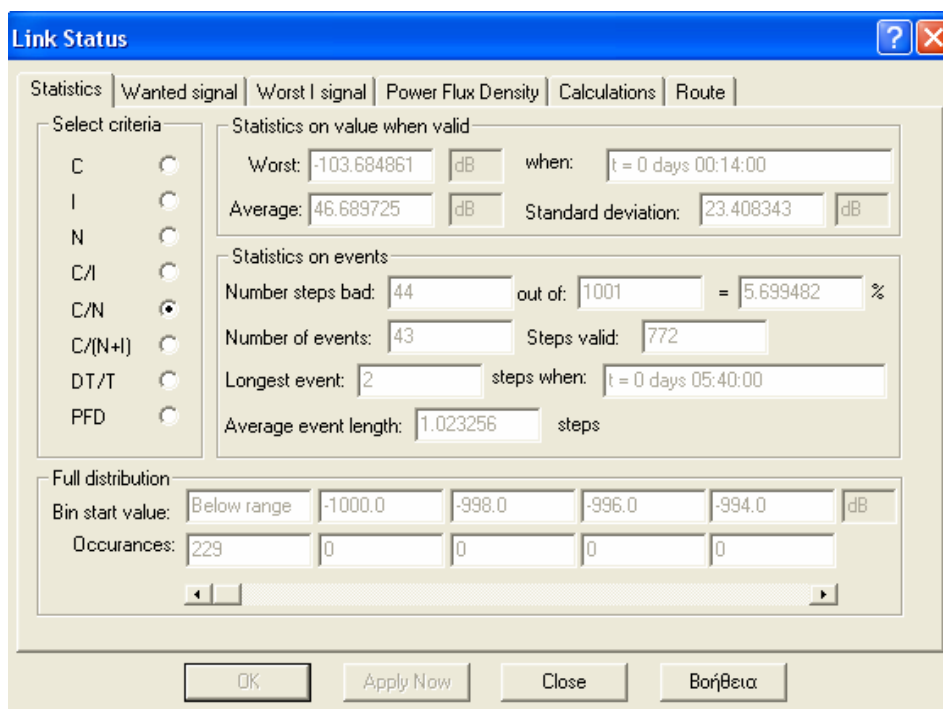


Σχήμα 7.136 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Κεντρική και Βορειοδυτική Ελλάδα (25 km – SAC - 2000 kbps)

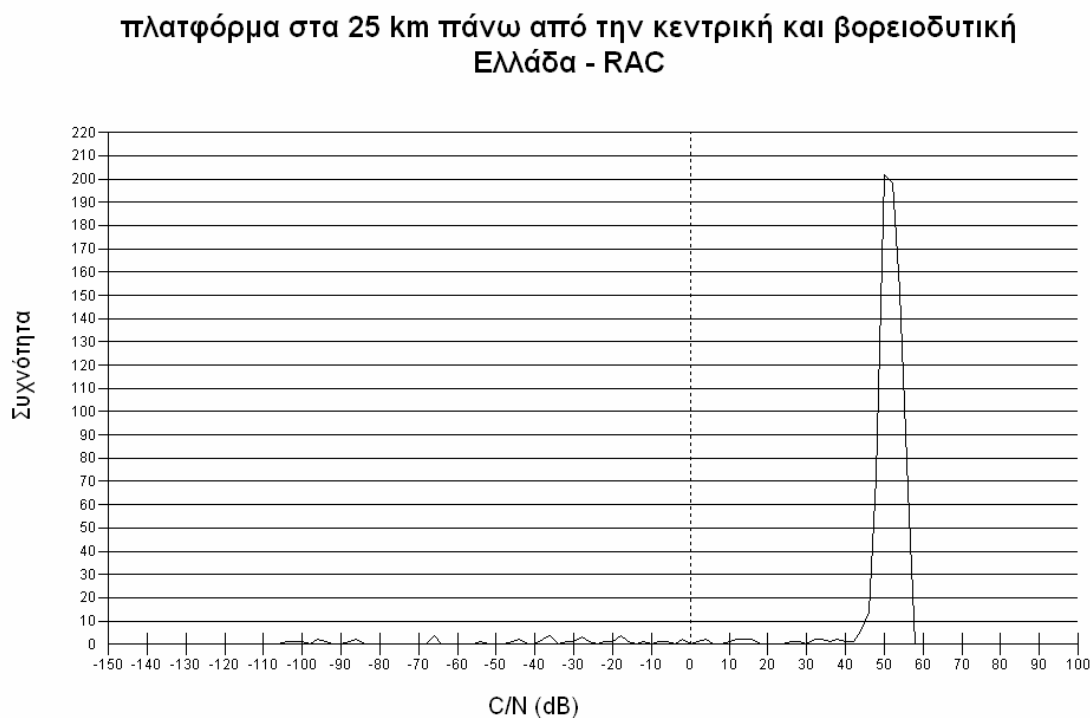
πλατφόρμα στα 25 km πάνω από την κεντρική και βορειοδυτική
Ελλάδα - SAC



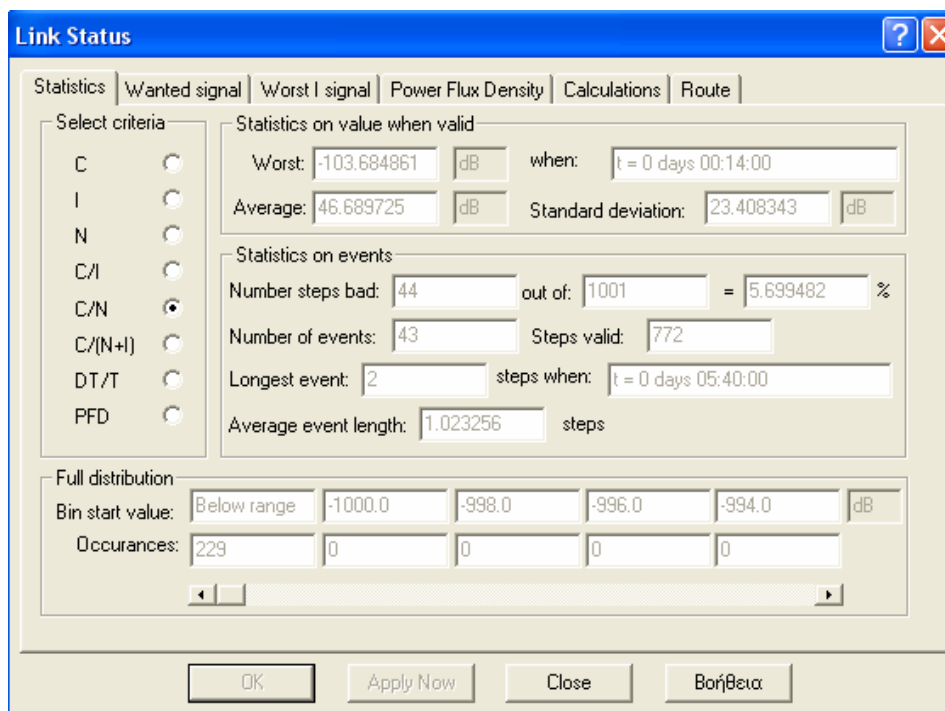
Διάγραμμα 7.117 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.137 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Κεντρική και Βορειοδυτική Ελλάδα (25 km – RAC - 384 kbps)

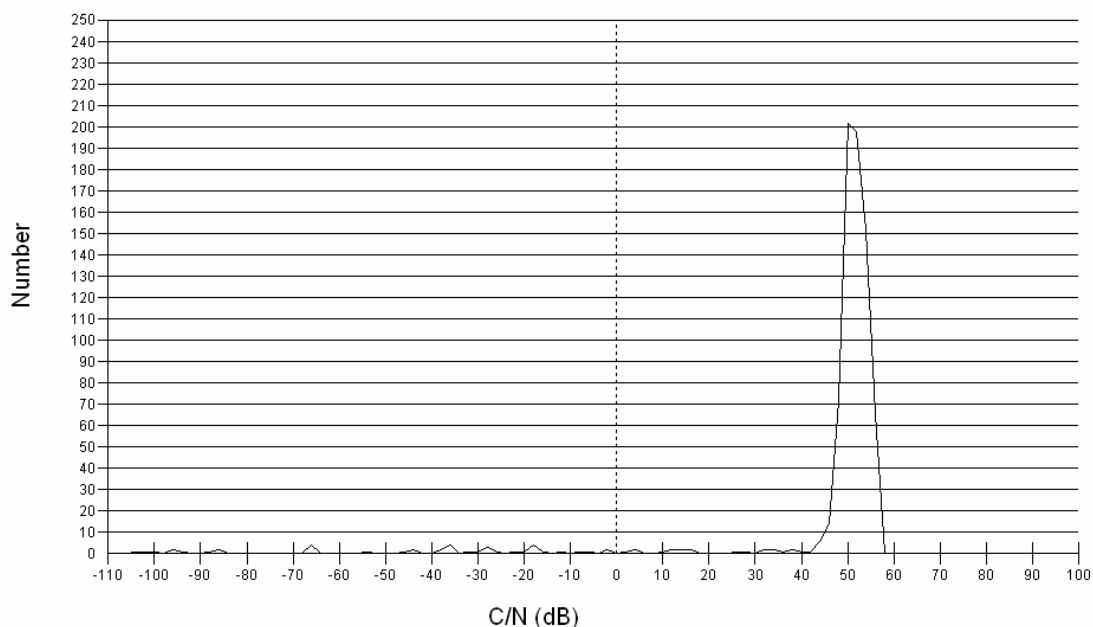


Διάγραμμα 7.118 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.138 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Κεντρική και Βορειοδυτική Ελλάδα (25 km – RAC - 2000 kbps)

πλατφόρμα στα 25 km πάνω από την κεντρική και βορειοδυτική Ελλάδα - RAC



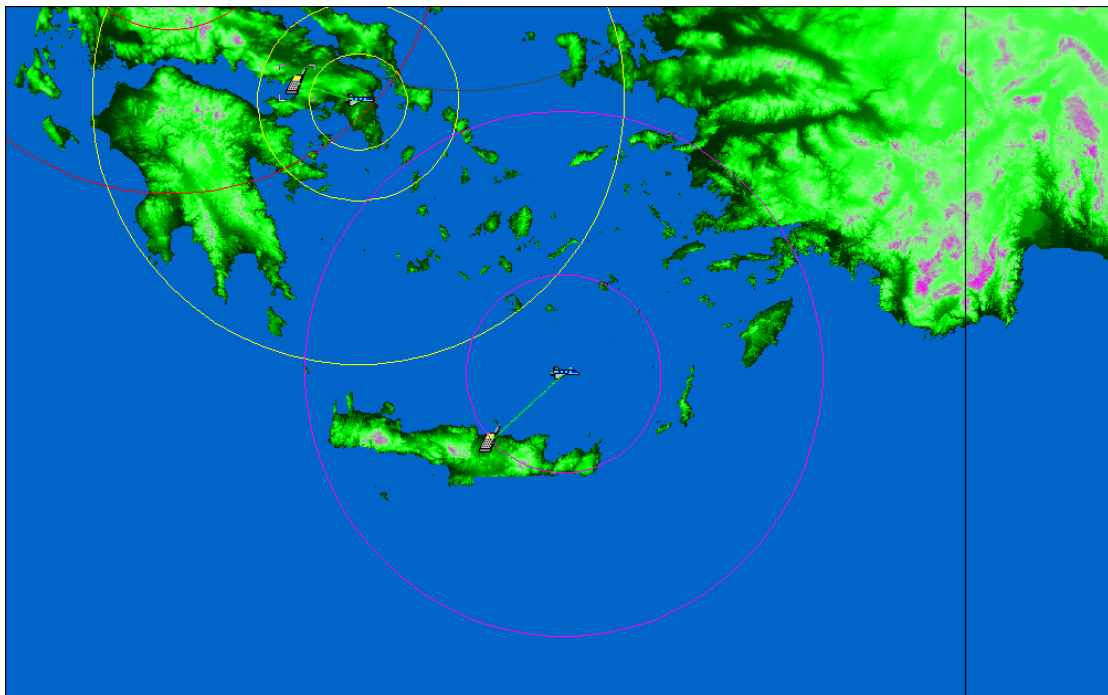
Διάγραμμα 7.119 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

Παρατηρούμε πως και στις τρεις ζώνες της περιοχής κάλυψης ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος που υπολογίσαμε είναι μεγαλύτερος του απαιτούμενου σηματοθορυβικού λόγου των 10.5 dB για μετάδοση τόσο δεδομένων όσο και audio και video.

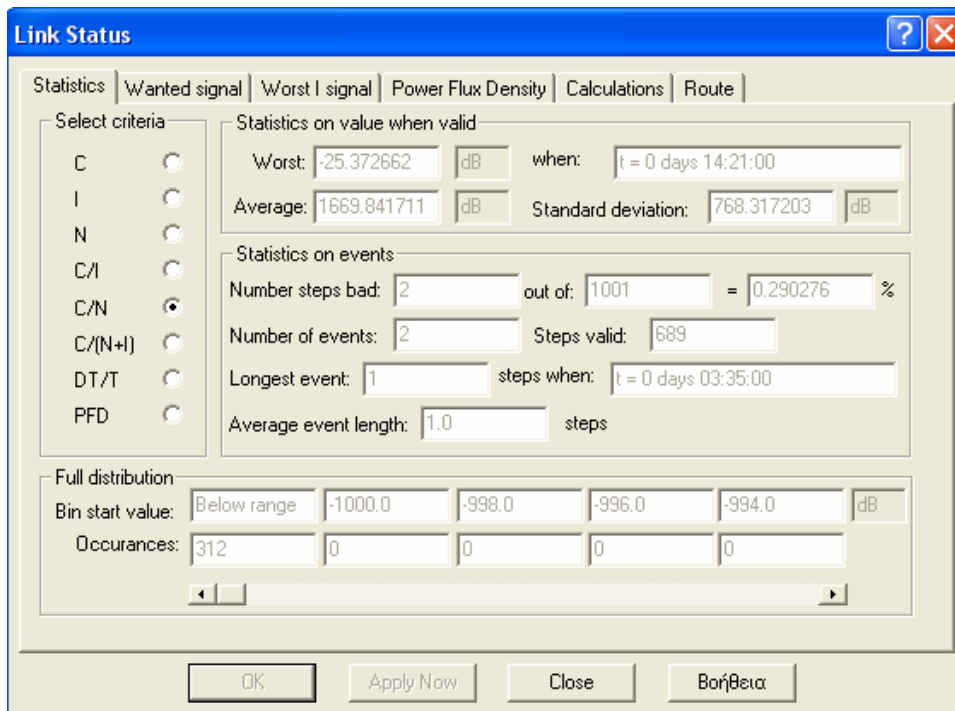
Συγκεκριμένα για ρυθμό μετάδοσης 384 kbps, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 32.45 dB, μέσο περιθώριο 21.95 dB ενώ έχουμε 100% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 42.8 dB, μέσο περιθώριο 32.3 dB ενώ έχουμε 99,42% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 46.69 dB, μέσο περιθώριο 36.19 dB ενώ έχουμε 94.3% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

Για ρυθμό μετάδοσης 2000 kbps, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 25.28 dB, μέσο περιθώριο 14.78 dB ενώ έχουμε 100% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 35.64 dB, μέσο περιθώριο 25.14 dB ενώ έχουμε 99,13% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 46.69 dB, μέσο περιθώριο 36.19 dB ενώ έχουμε 94.3% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

- Για την πλατφόρμα που τοποθετήσαμε πάνω από την Κρήτη και τα νησιά του Αιγαίου έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

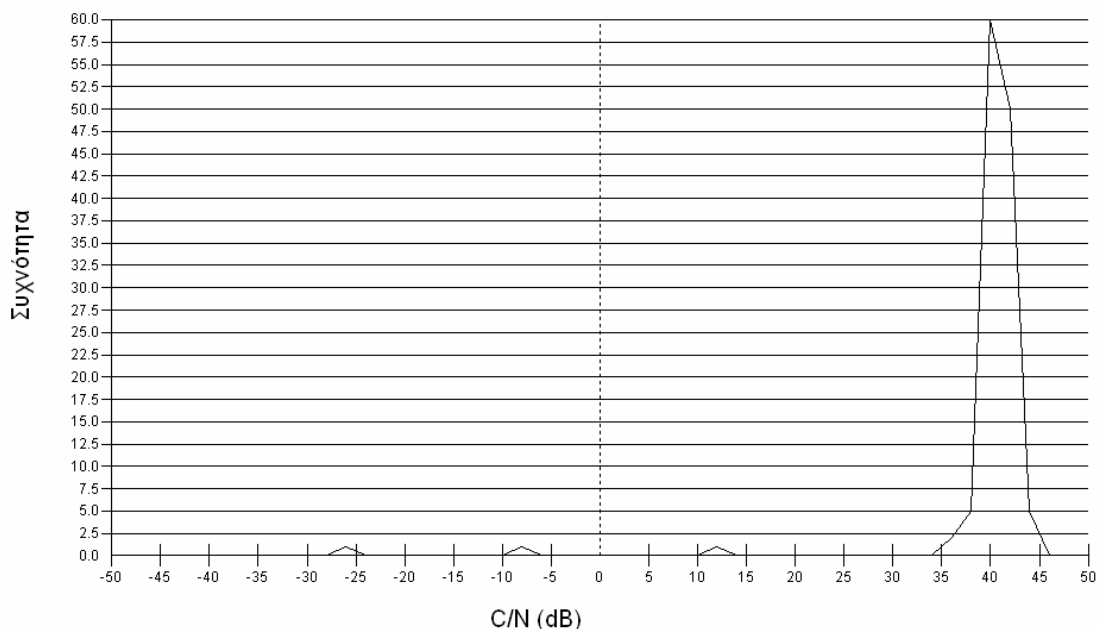


Σχήμα 7.139 Πλατφόρμα στα 25 km πάνω από την Κρήτη και τα νησιά του Αιγαίου

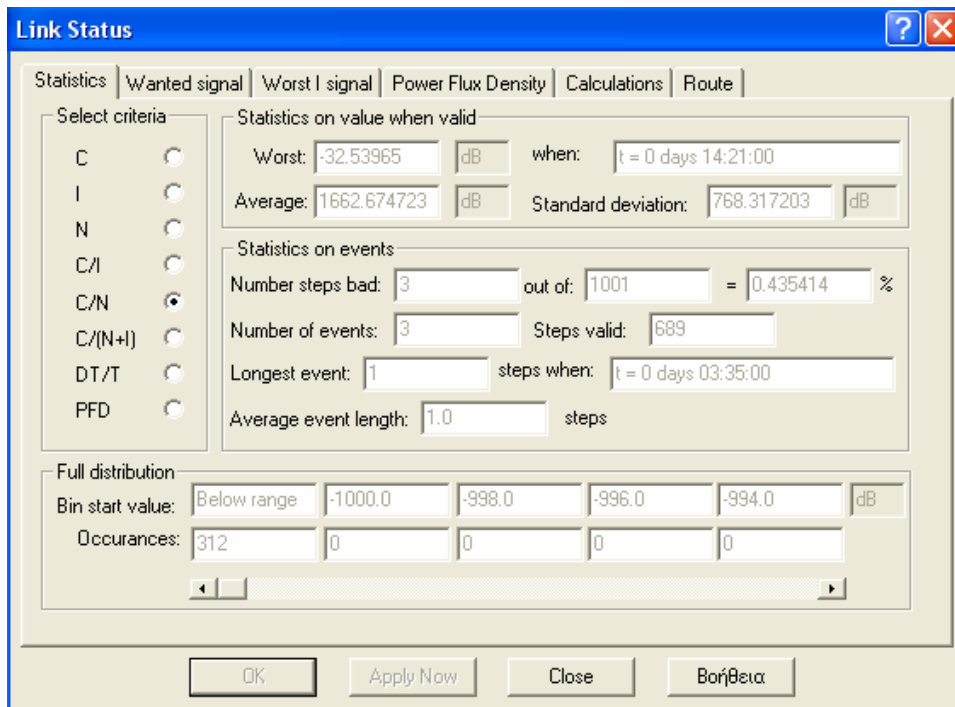


Σχήμα 7.140 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Κρήτη και τα νησιά του Αιγαίου (25 km – SAC - 384 kbps)

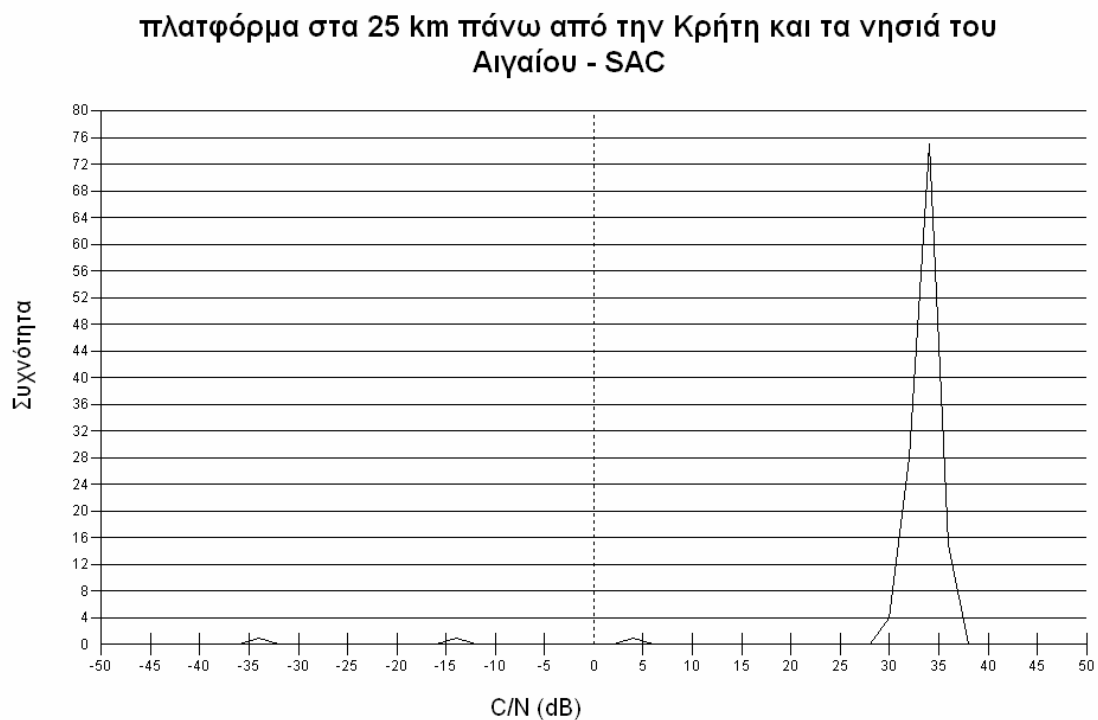
πλατφόρμα στα 25 km πάνω από την Κρήτη και τα νησιά του Αιγαίου - SAC



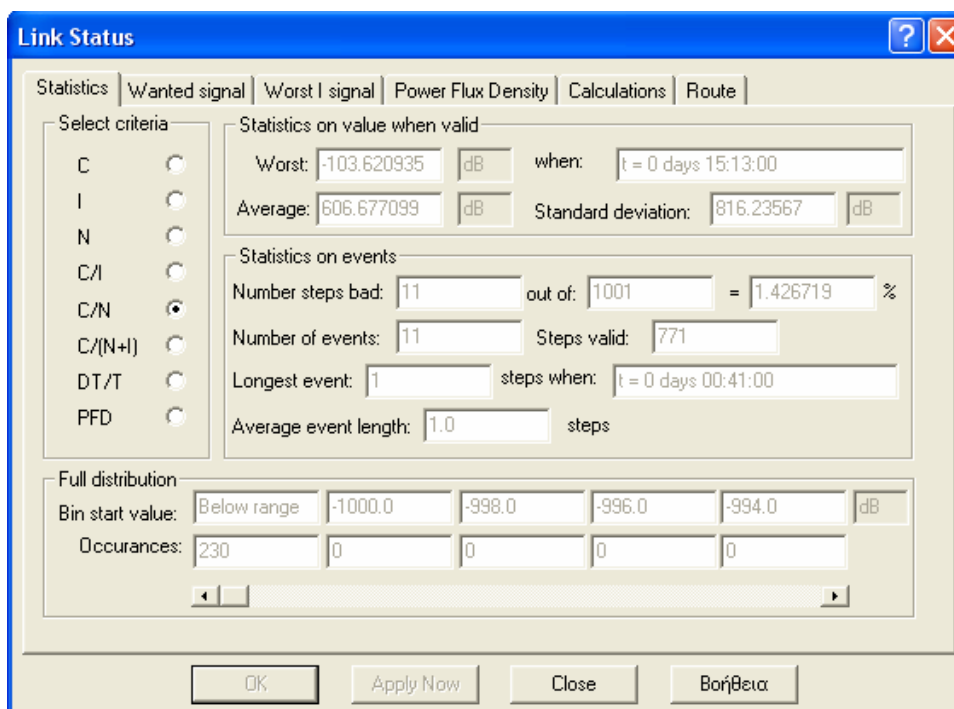
Διάγραμμα 7.120 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθρομβικού λόγου



Σχήμα 7.141 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Κρήτη και τα νησιά του Αιγαίου (25 km – SAC -2000 kbps)



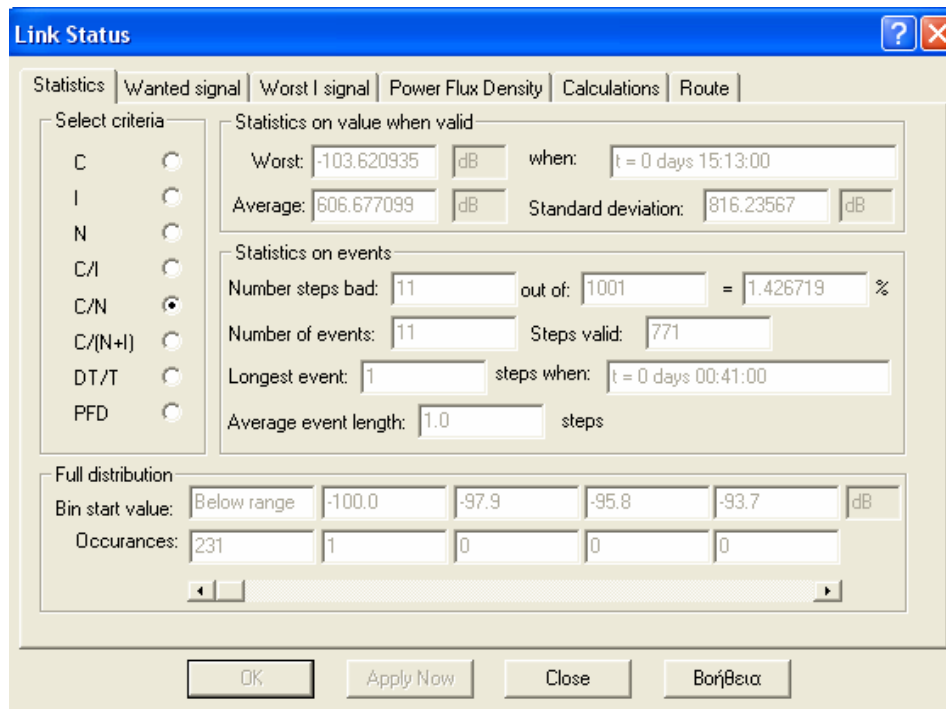
Διάγραμμα 7.121 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.142 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Κρήτη και τα νησιά του Αιγαίου (25 km – RAC - 384 kbps)

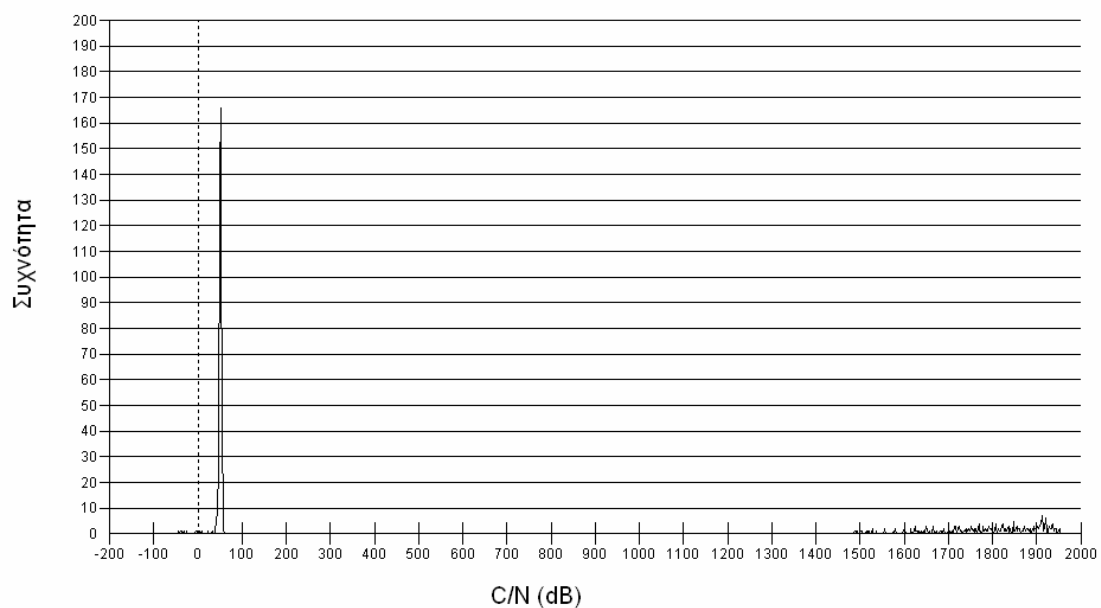


Διάγραμμα 7.122 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.143 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Κεντρική Κρήτη και τα νησιά του Αιγαίου (25 km – RAC - 2000 kbps)

πλατφόρμα στα 25 km πάνω από την Κρήτη και τα νησιά του Αιγαίου - RAC



Διάγραμμα 7.123 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

Παρατηρούμε πως όπως και στην Ανατολική Μακεδονία και για τους ίδιους λόγους που εξηγήσαμε, και στις τρεις ζώνες της περιοχής κάλυψης ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος που υπολογίσαμε είναι πολύ μεγαλύτερος του απαιτούμενου σηματοθορυβικού λόγου των 10.5 dB για μετάδοση τόσο δεδομένων όσο και audio και video.

Συγκεκριμένα για ρυθμό μετάδοσης 384 kbps στην SAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 1669.8 dB, μέσο περιθώριο 1659.3 dB ενώ έχουμε 99,71% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 606.68 dB, μέσο περιθώριο 596.18 dB ενώ έχουμε 98.6% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

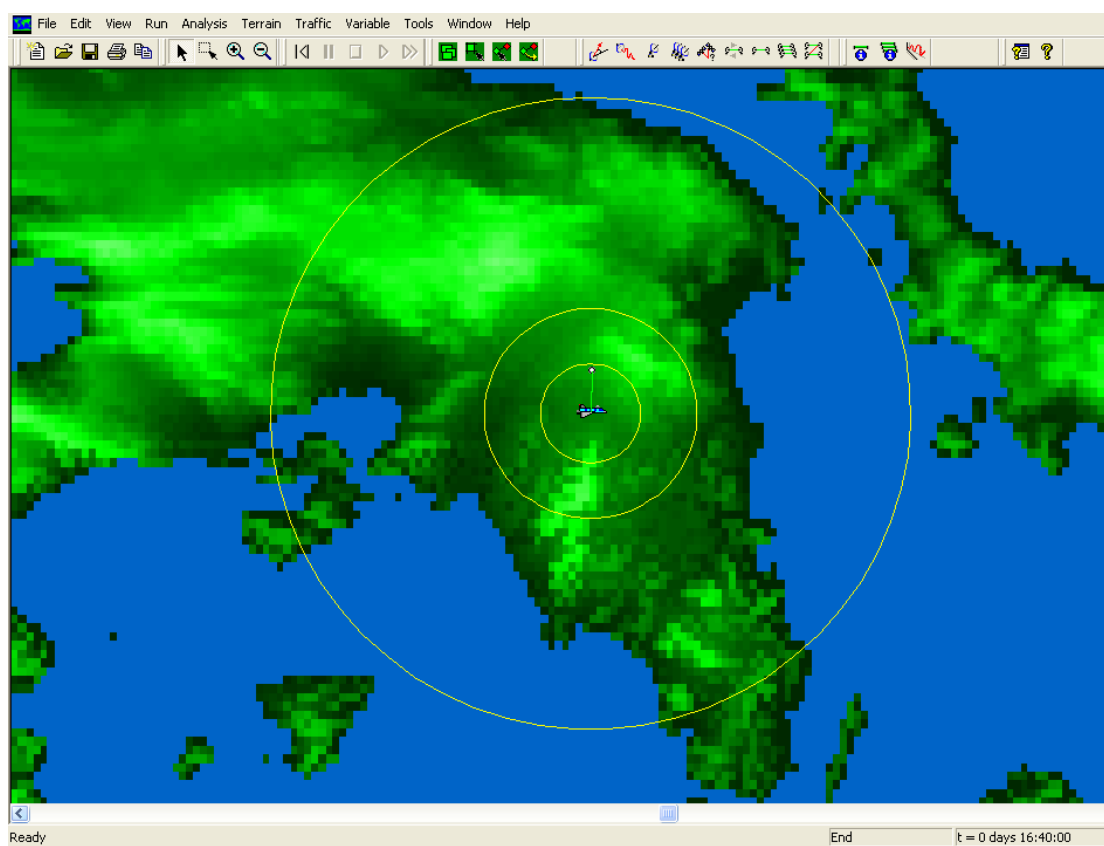
Για ρυθμό μετάδοσης 2000 kbps, στην SAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 1662.67 dB, μέσο περιθώριο 1652.17 dB ενώ έχουμε 99,56% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 606.68 dB, μέσο περιθώριο 596.18 dB ενώ έχουμε 98.57% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

7.6 4^ο σενάριο: Τοποθέτηση πλατφορμών στα 3 km πάνω από επιλεγμένα σημεία της Ελλάδας για κάλυψη περιπτώσεων εκτάκτου ανάγκης

Αφού ολοκληρώσαμε τη μελέτη ραδιοκάλυψη της Ελλάδας τοποθετώντας τις πλατφόρμες σε τρία διαφορετικά υψόμετρα, επιχειρήσαμε να φέρουμε τις πλατφόρμες όσο το δυνατόν πιο κοντά στην επιφάνεια της γης. Με αυτόν τον τρόπο θέλουμε να μελετήσουμε κατά πόσον το στρατοσφαιρικό σύστημα μπορεί να προσαρμοστεί σε περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης, στις οποίες απαιτείται η ταχεία και προσωρινή ανύψωση της πλατφόρμας. Περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης μπορούν να θεωρηθούν φυσικές καταστροφές όπως πυρκαγιά, πλημμύρες, σεισμοί κ.α. καθώς και διακοπή του υπάρχοντος τηλεπικοινωνιακού δικτύου από διάφορα αίτια. Για τους παραπάνω λόγους θεωρήσαμε ως κατάλληλο υψόμετρο τα 3km και μελετήσαμε την επίδοση του συστήματος για πέντε περιοχές του Ελλαδικού χώρου. Φυσικά δεν ήταν δυνατή η ραδιοκάλυψη ολόκληρης της Ελλάδας με τις πλατφόρμες τοποθετημένες στα 3km, αφού όσο πιο χαμηλό είναι το υψόμετρο της πλατφόρμας, τόσο μικρότερη είναι η επιφάνεια που μπορεί να καλύψει, με αποτέλεσμα να απαιτείται πολύ μεγάλος αριθμός πλατφορμών, γεγονός που συνεπάγεται πολύ υψηλό κόστος. Επίσης όπως θα φανεί και από τα αποτελέσματα που θα παρουσιάσουμε παρακάτω, οι επιδόσεις του συστήματος για μικρές γωνίες ανύψωσης δεν κρίνονται ικανοποιητικές, μιας και το χαμηλό υψόμετρο σε συνδυασμό με τη μορφολογία του εδάφους προκαλεί μεγάλες απώλειες περίθλασης.

Επιλέξαμε λοιπόν να μελετήσουμε την Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη, τις δύο μεγαλύτερες πόλεις της Ελλάδας, το Ηράκλειο, μια παραθαλάσσια πόλη, τα Ιωάννινα, μια ορεινή πόλη και την Κεφαλλονιά, μια από τις πιο σεισμογενείς περιοχές του Ελλαδικού χώρου.

➤ Για την Αθήνα έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



Σχήμα 7.144 Πλατφόρμα στα 3 km πάνω από την Αθήνα

Link Status [?] [X]

Statistics | Wanted signal | Worst I signal | Power Flux Density | Calculations | Route

Select criteria:

- C
- I
- N
- C/I
- C/N
- C/(N+I)
- DT/T
- PFD

Statistics on value when valid:

Worst: 32.629153 dB when: t = 0 days 05:50:00

Average: 77.541368 dB Standard deviation: 172.219725 dB

Statistics on events:

Number steps bad: 0 out of: 1001 = 0.0 %

Number of events: 0 Steps valid: 690

Longest event: 0 steps when:

Average event length: 0.0 steps

Full distribution:

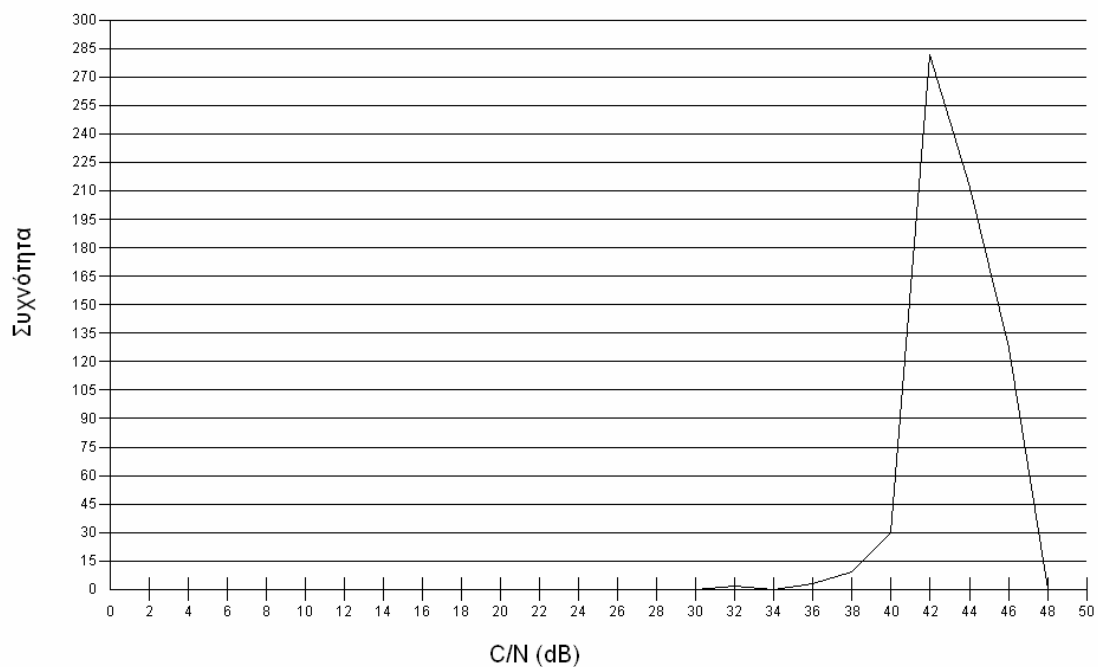
Bin start value: Below range -1000.0 -998.0 -996.0 -994.0 dB

Occurrences: 311 0 0 0 0

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 7.145 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (3 km – UAC -2000 kbps)

πλατφόρμα στα 3 km πάνω από την Αθήνα - UAC



Διάγραμμα 7.124 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

Link Status [?] [X]

Statistics | Wanted signal | Worst I signal | Power Flux Density | Calculations | Route

Select criteria

C

I

N

C/I

C/N

C/(N+I)

DT/T

PFD

Statistics on value when valid

Worst: -16.684878 dB when: t = 0 days 11:48:00

Average: 53.875907 dB Standard deviation: 6.467445 dB

Statistics on events

Number steps bad: 4 out of: 1001 = 0.801603 %

Number of events: 4 Steps valid: 499

Longest event: 1 steps when: t = 0 days 00:16:00

Average event length: 1.0 steps

Full distribution

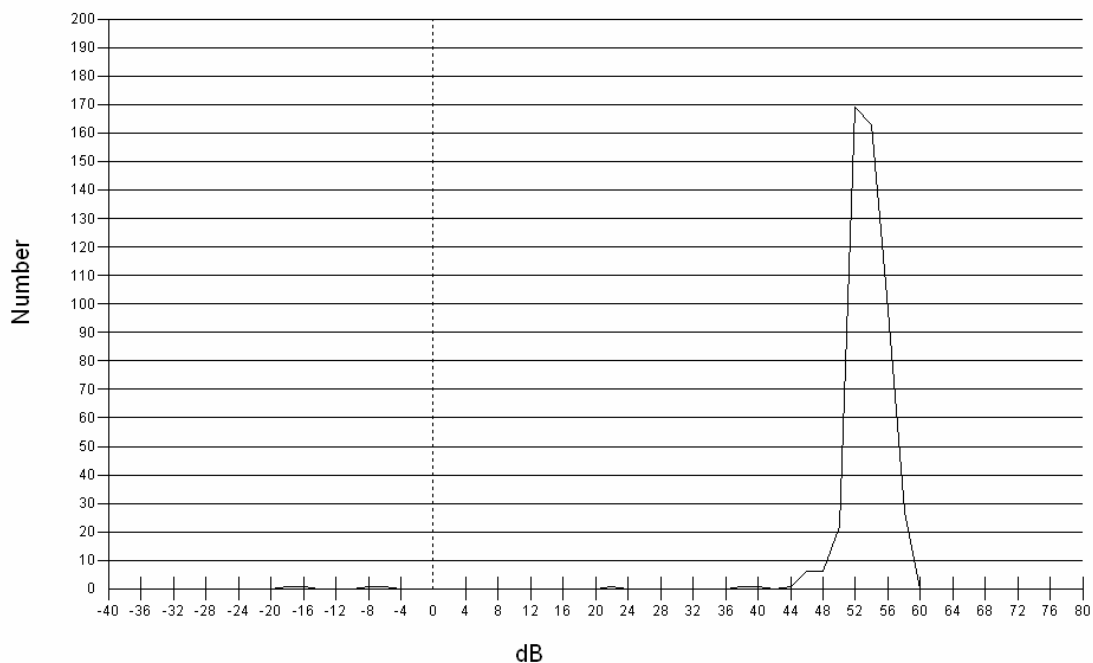
Bin start value: Below range Above range

Occurrences: 0 0

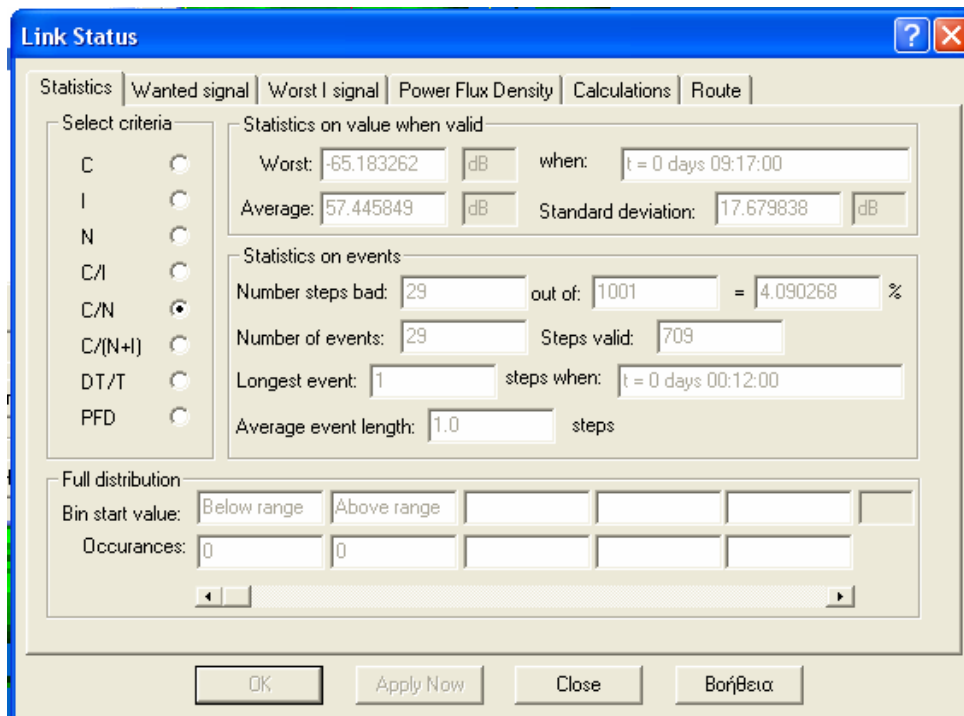
OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 7.146 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (3 km – SAC - 2000 kbps)

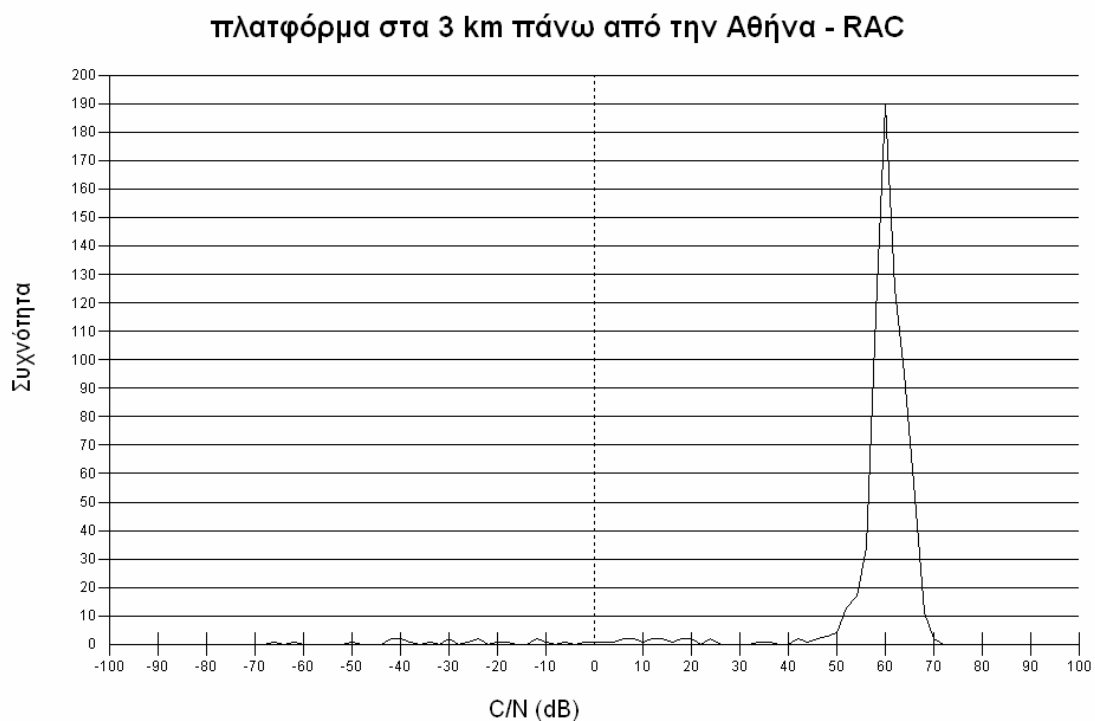
πλατφόρμα στα 3 km πάνω από την Αθήνα - SAC



Διάγραμμα 7.125 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.147 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Αθήνα (3 km – RAC - 2000 kbps)

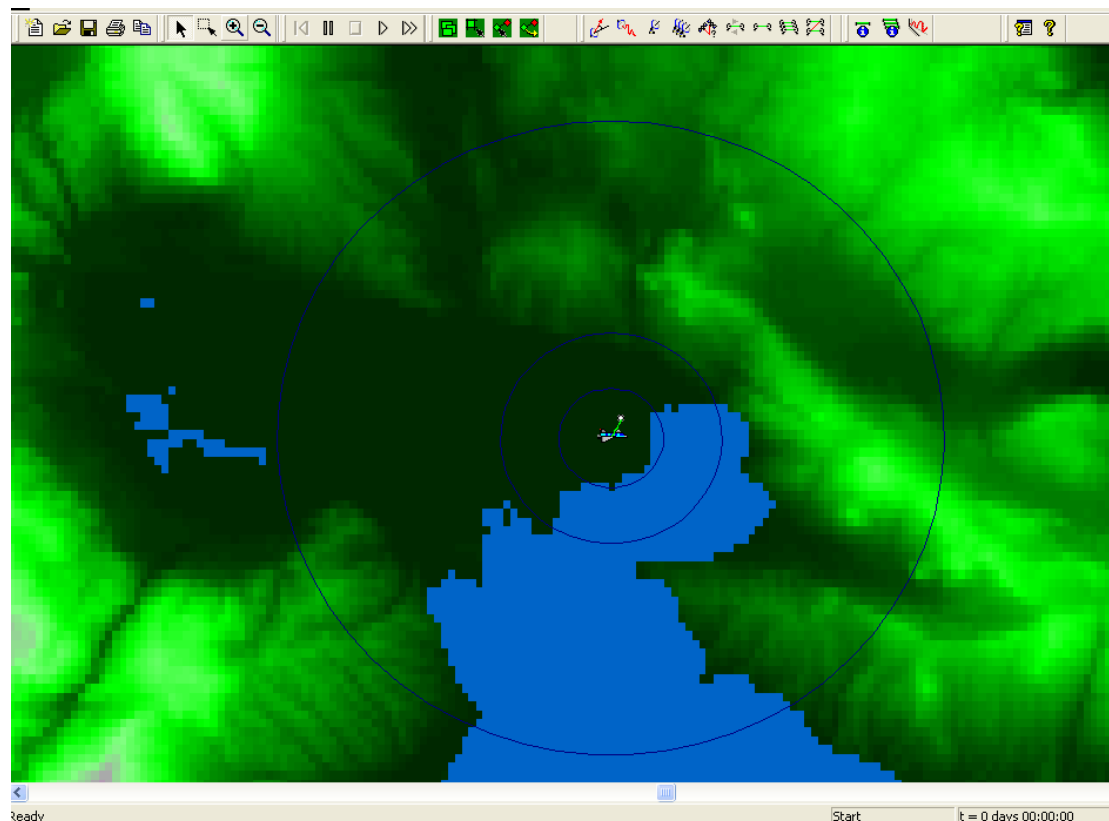


Διάγραμμα 7.126 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

Παρατηρούμε πως και στις τρεις ζώνες της περιοχής κάλυψης ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος που υπολογίσαμε είναι πολύ μεγαλύτερος του απαιτούμενου σηματοθορυβικού λόγου των 10.5 dB για μετάδοση τόσο δεδομένων όσο και audio και video. Τα αποτελέσματα είναι ιδανικά γιατί η μορφολογία του εδάφους στο νομό Αττικής είναι ομαλή χωρίς μεγάλους ορεινούς όγκους, πράγμα που σημαίνει μικρές απώλειες περίθλασης και επίσης γιατί το σήμα διανύει μικρή απόσταση από τον πομπό στο δέκτη, εξ' αιτίας του χαμηλού υψομέτρου της πλατφόρμας με αποτέλεσμα μικρές απώλειες ελευθέρου χώρου.

Συγκεκριμένα, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 77.54 dB, μέσο περιθώριο 67.04 dB ενώ έχουμε 100% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 53.88 dB, μέσο περιθώριο 43.38 dB ενώ έχουμε 99,2% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 57.46 dB, μέσο περιθώριο 46.96 dB ενώ έχουμε 95,91% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

➤ Για την Θεσσαλονίκη έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



Σχήμα 7.148 Πλατφόρμα στα 3 km πάνω από τη Θεσσαλονίκη

Link Status [?] [X]

Statistics | Wanted signal | Worst I signal | Power Flux Density | Calculations | Route

Select criteria:

- C
- I
- N
- C/I
- C/N
- C/(N+I)
- DT/T
- PFD

Statistics on value when valid:

Worst: 34.470919 dB when: t = 0 days 01:01:00

Average: 87.59511 dB Standard deviation: 349.27829 dB

Statistics on events:

Number steps bad: 0 out of: 1001 = 0.0 %

Number of events: 0 Steps valid: 1001

Longest event: 0 steps when:

Average event length: 0.0 steps

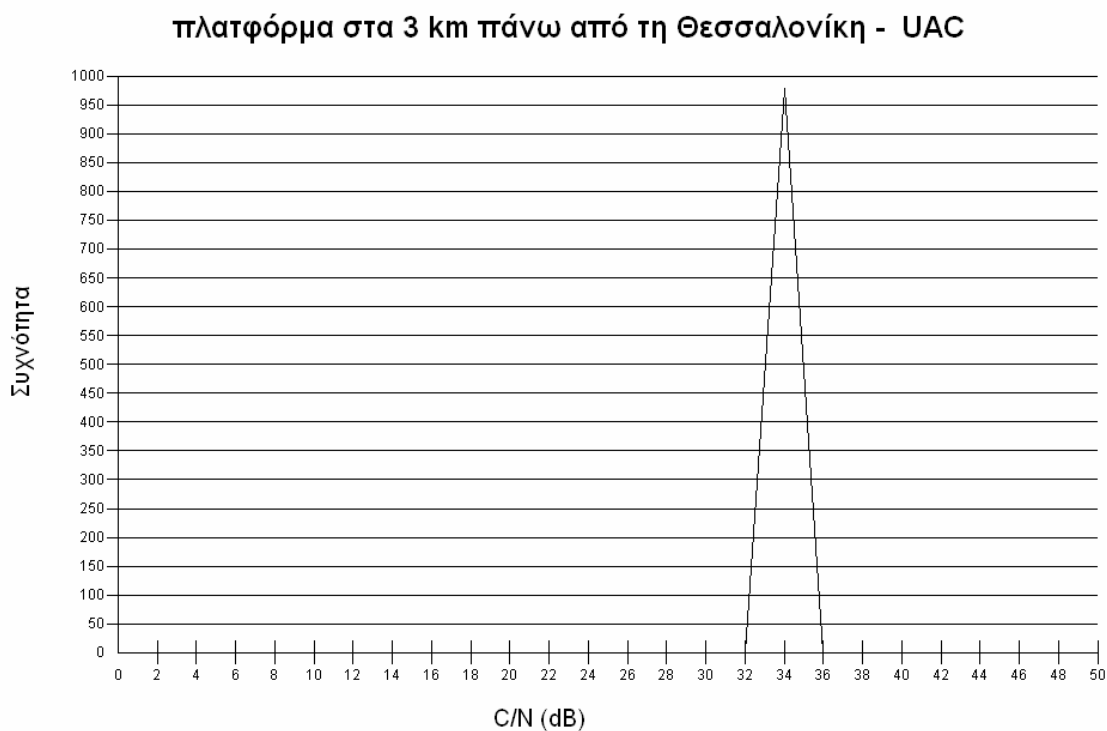
Full distribution:

Bin start value: Below range -1000.0 -998.0 -996.0 -994.0 dB

Occurrences: 0 0 0 0 0

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 7.149 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλονίκη (3 km – UAC - 2000 kbps)



Διάγραμμα 7.127 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

Link Status [?] [X]

Statistics | Wanted signal | Worst I signal | Power Flux Density | Calculations | Route

Select criteria

C

I

N

C/I

C/N

C/(N+I)

DT/T

PFD

Statistics on value when valid

Worst: 16.984663 dB when: t = 0 days 08:37:00

Average: 53.400215 dB Standard deviation: 2.873981 dB

Statistics on events

Number steps bad: 0 out of: 1001 = 0.0 %

Number of events: 0 Steps valid: 598

Longest event: 0 steps when:

Average event length: 0.0 steps

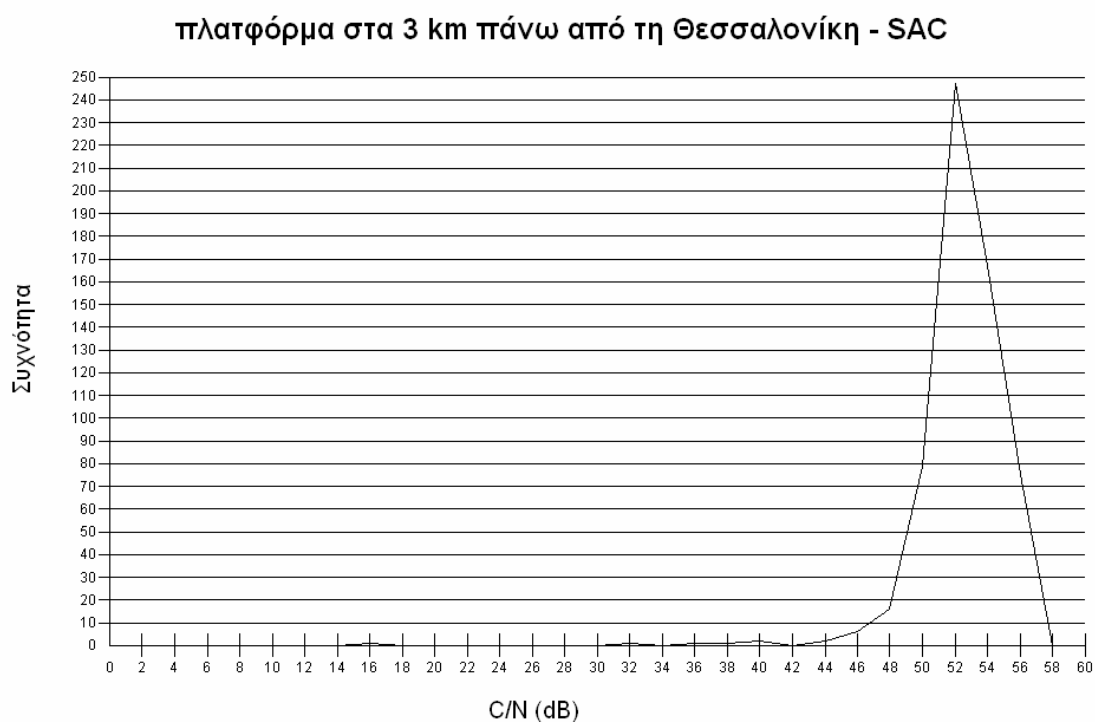
Full distribution

Bin start value: Below range Above range

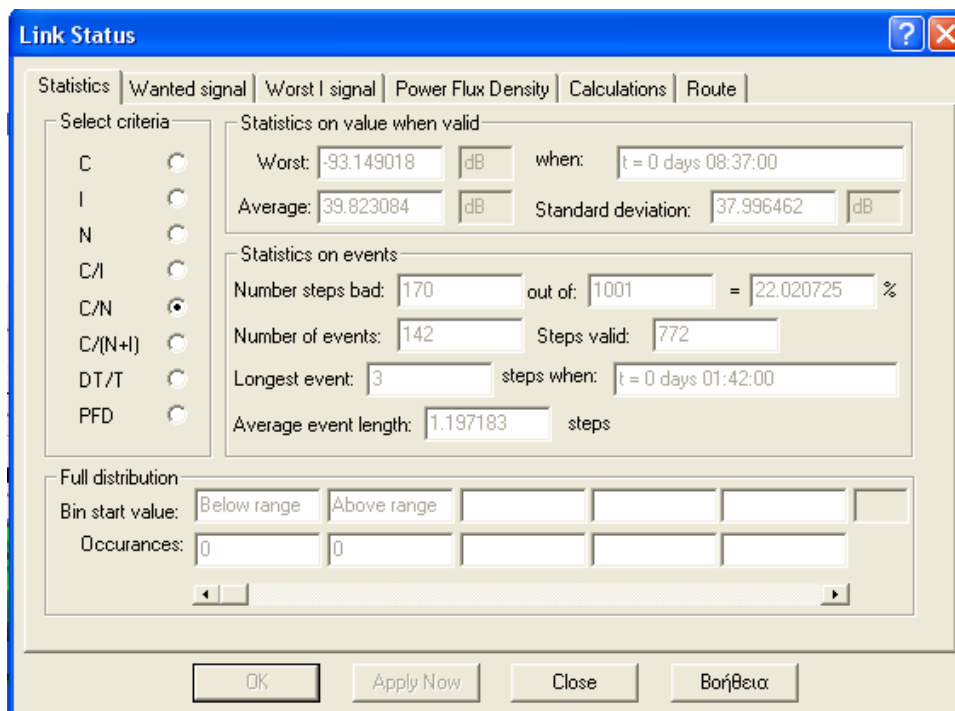
Occurrences: 0 0

OK Apply Now Close Βοήθεια

Σχήμα 7.151 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλονίκη (3 km – SAC - 2000 kbps)



Διάγραμμα 7.128 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.151 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τη Θεσσαλονίκη (3 km – RAC - 2000 kbps)

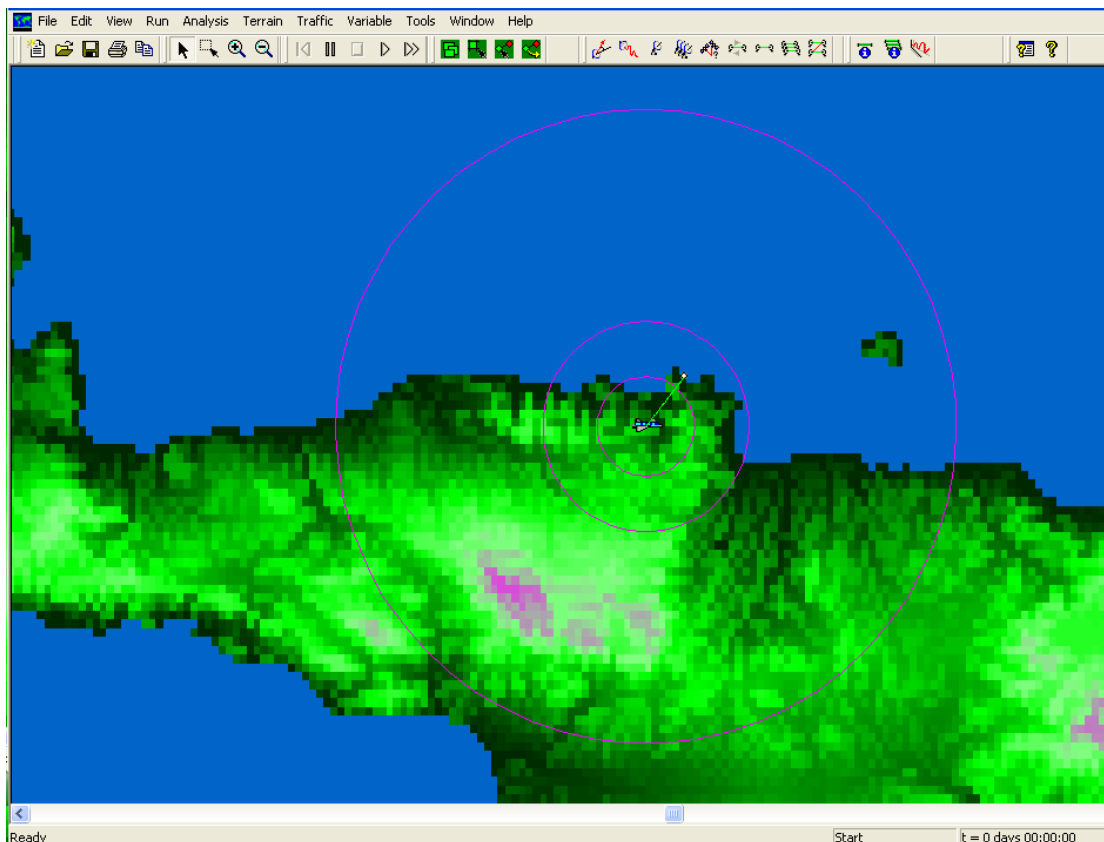


Διάγραμμα 7.129 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

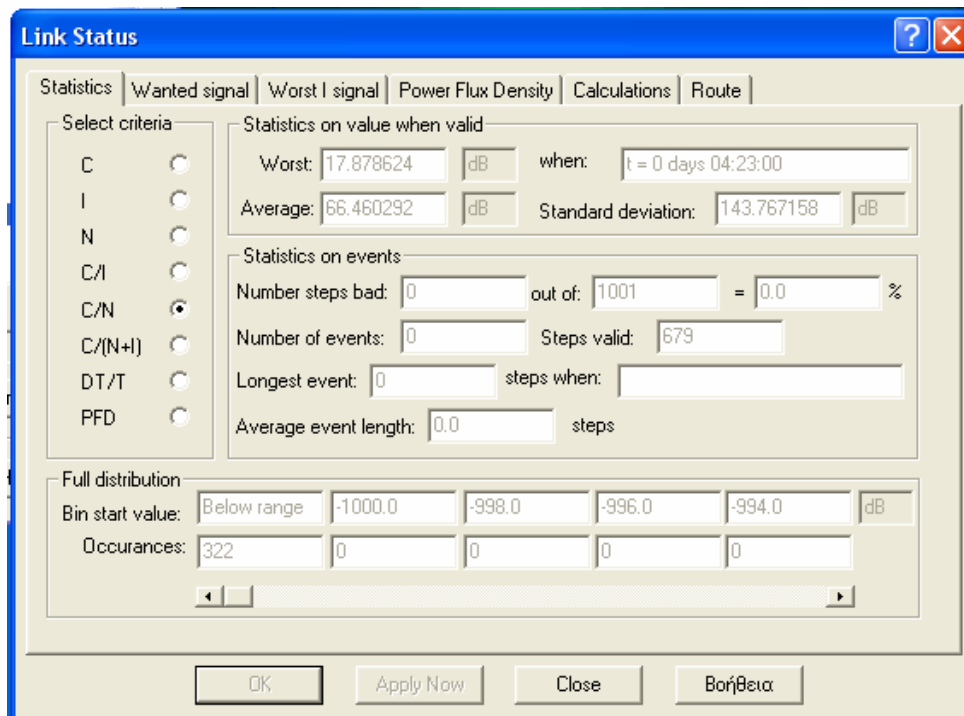
Παρατηρούμε πως και στις τρεις ζώνες της περιοχής κάλυψης ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος που υπολογίσαμε είναι πολύ μεγαλύτερος του απαιτούμενου σηματοθορυβικού λόγου των 10.5 dB για μετάδοση τόσο δεδομένων όσο και audio και video. Στην RAC ζώνη όμως το 22% των μετρήσεων βρέθηκε κάτω από το όριο που είχαμε θέσει, λόγω των ορεινών όγκων που υπάρχουν γύρω από τη Θεσσαλονίκη και της χαμηλής γωνίας ανύψωσης. Τα αποτελέσματα είναι ιδανικά στις άλλες δύο ζώνες γιατί η μορφολογία του εδάφους είναι ομαλή χωρίς μεγάλους ορεινούς όγκους, πράγμα που σημαίνει μικρές απώλειες περίθλασης και επίσης γιατί το σήμα διανύει μικρή απόσταση από τον πομπό στο δέκτη, εξ' αιτίας του χαμηλού υψομέτρου της πλατφόρμας με αποτέλεσμα μικρές απώλειες ελευθέρου χώρου.

Συγκεκριμένα, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 87.6 dB, μέσο περιθώριο 77.1 dB ενώ έχουμε 100% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 53.4 dB, μέσο περιθώριο 42.9 dB ενώ έχουμε 100% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 39.82 dB, μέσο περιθώριο 29.32 dB ενώ έχουμε 77.98% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

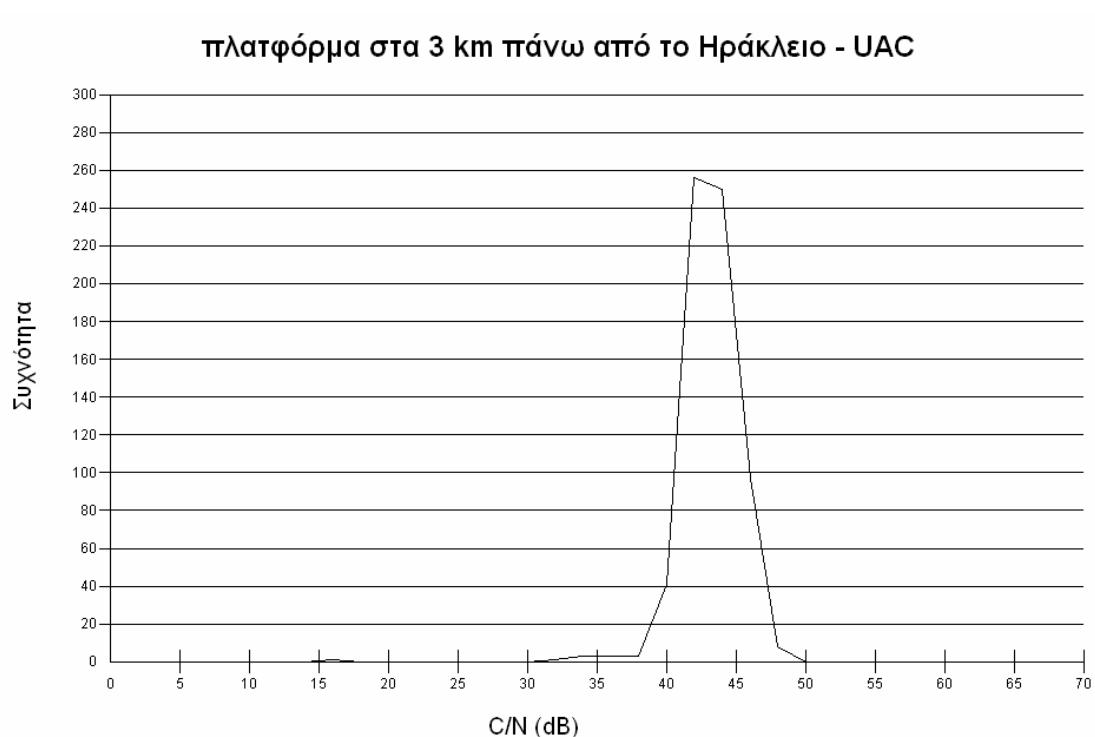
➤ Για το Ηράκλειο έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



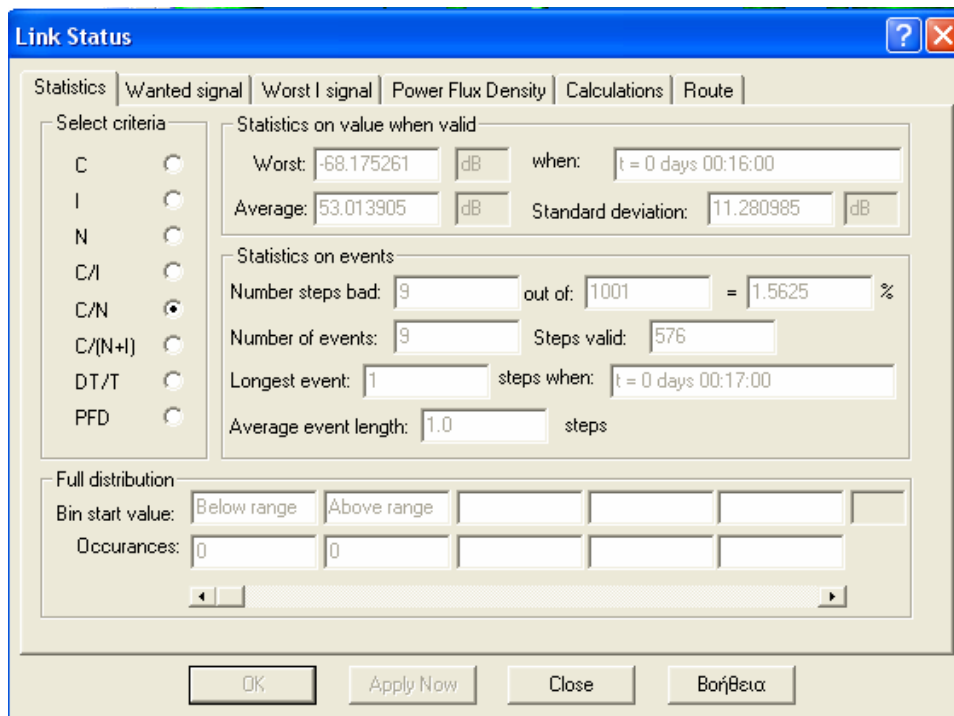
Σχήμα 7.152 Πλατφόρμα στα 3 km πάνω από το Ηράκλειο



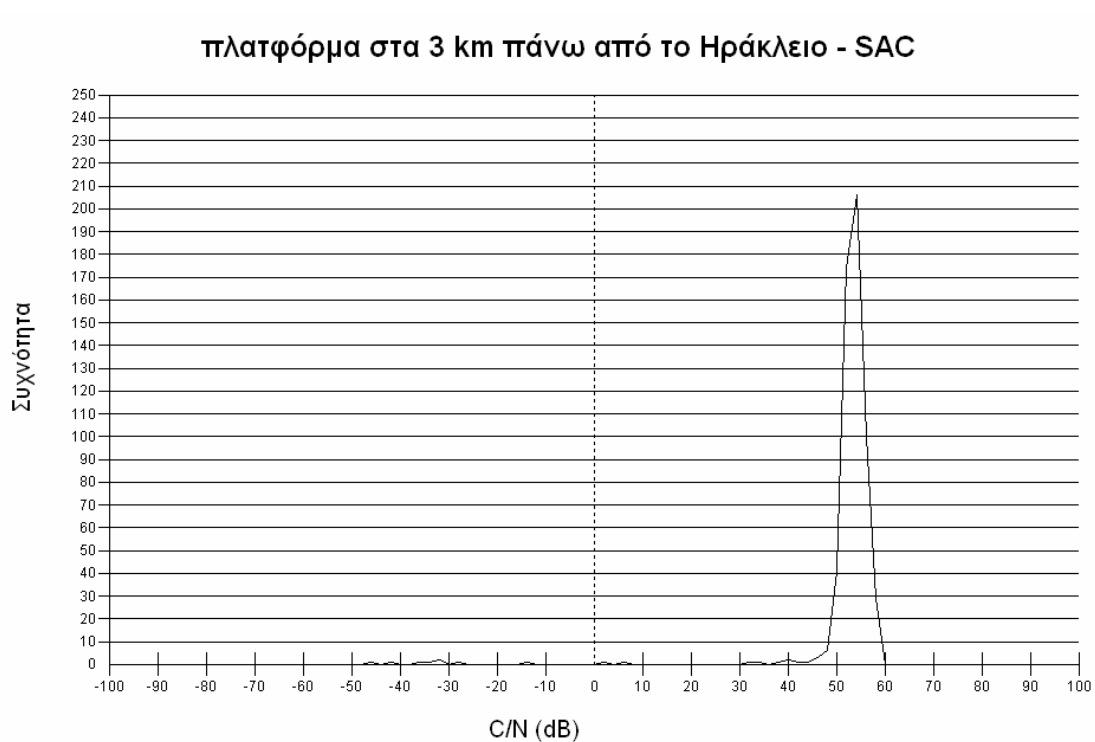
Σχήμα 7.153 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Ηράκλειο (3 km – UAC -2000 kbps)



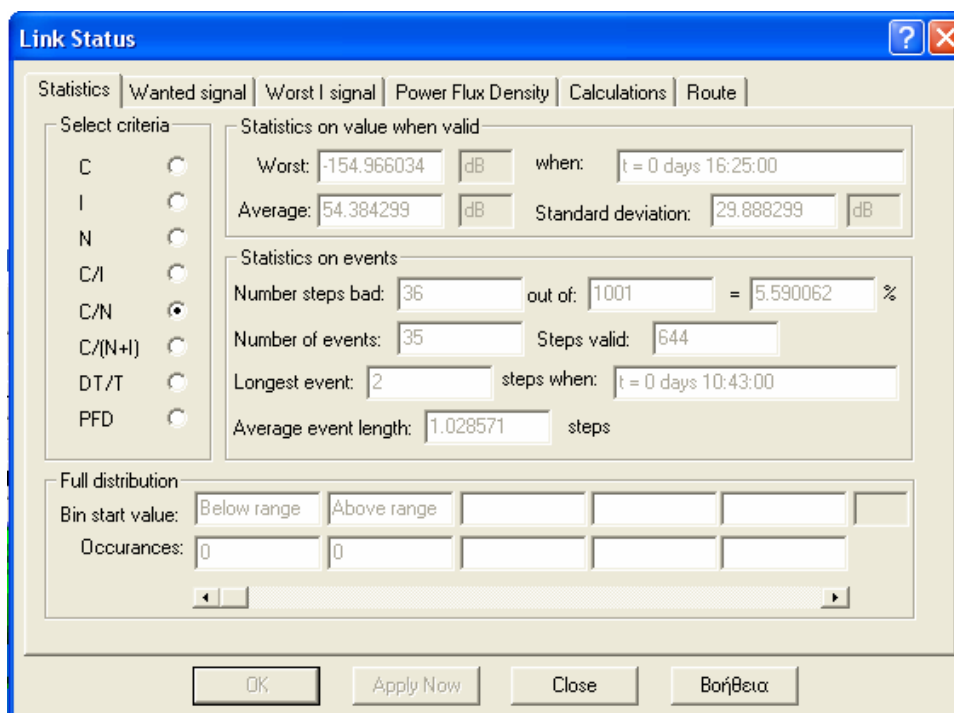
Διάγραμμα 7.130 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



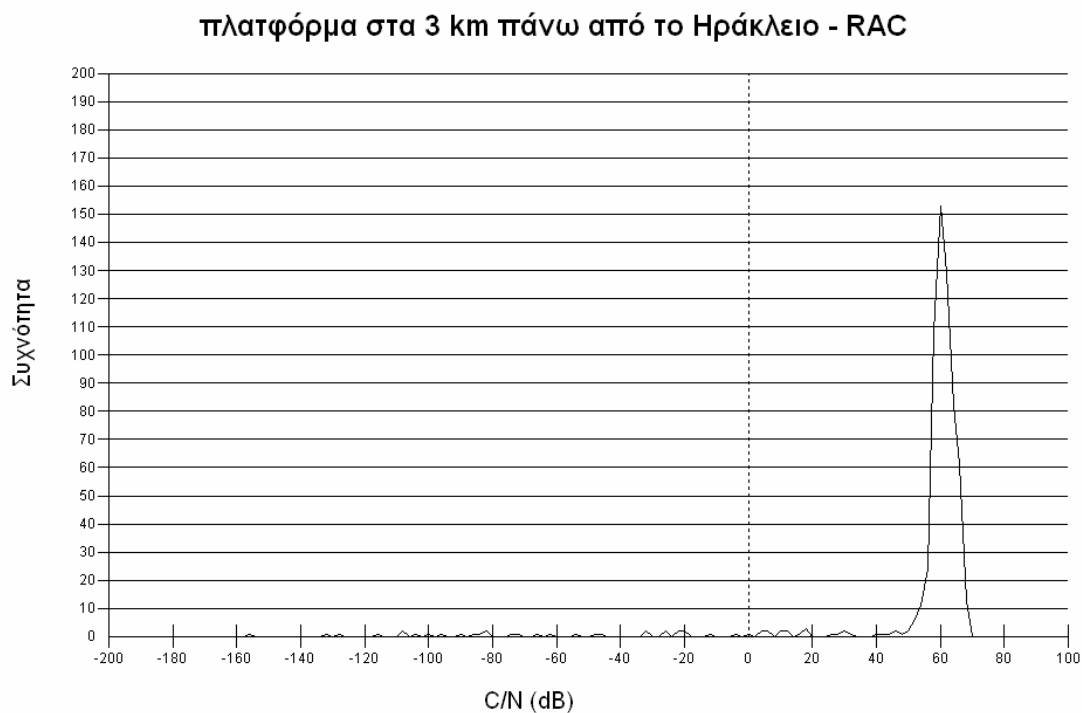
Σχήμα 7.154 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Ηράκλειο (3 km – SAC - 2000 kbps)



Διάγραμμα 7.131 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθρομβικού λόγου



Σχήμα 7.155 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από το Ηράκλειο (3 km – RAC - 2000 kbps)

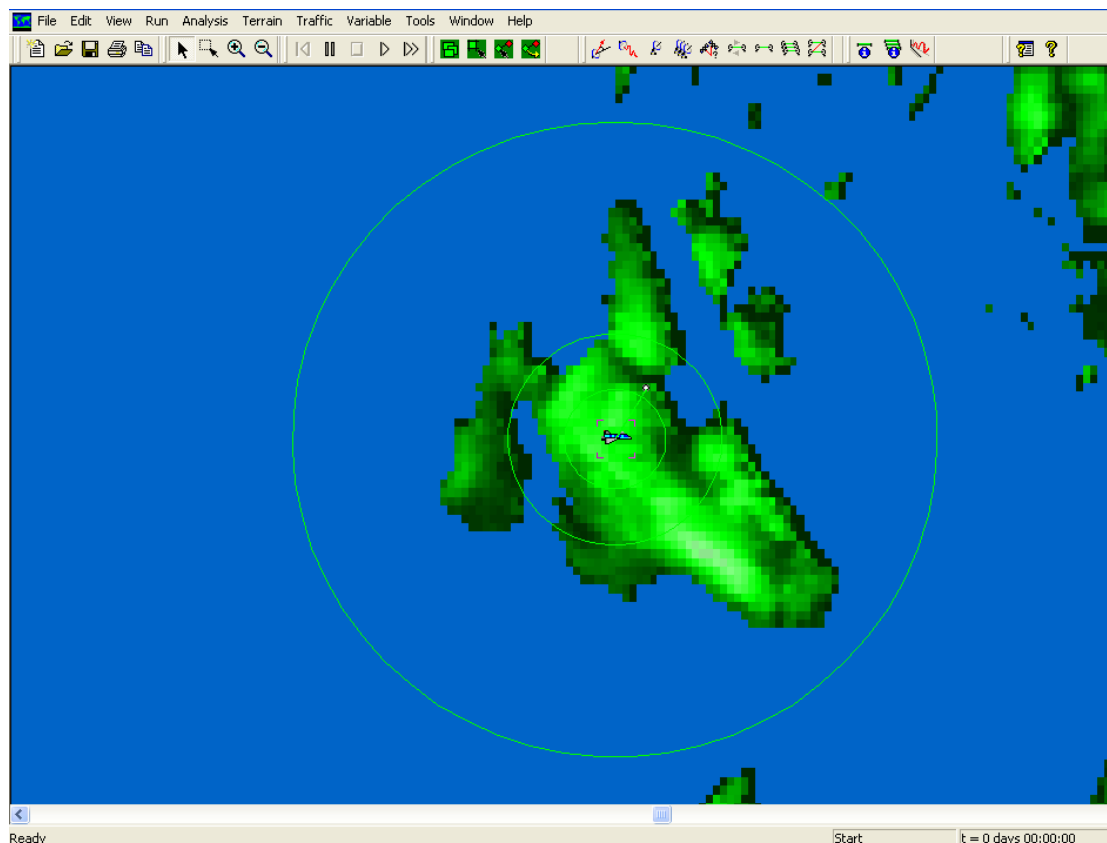


Διάγραμμα 7.132 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

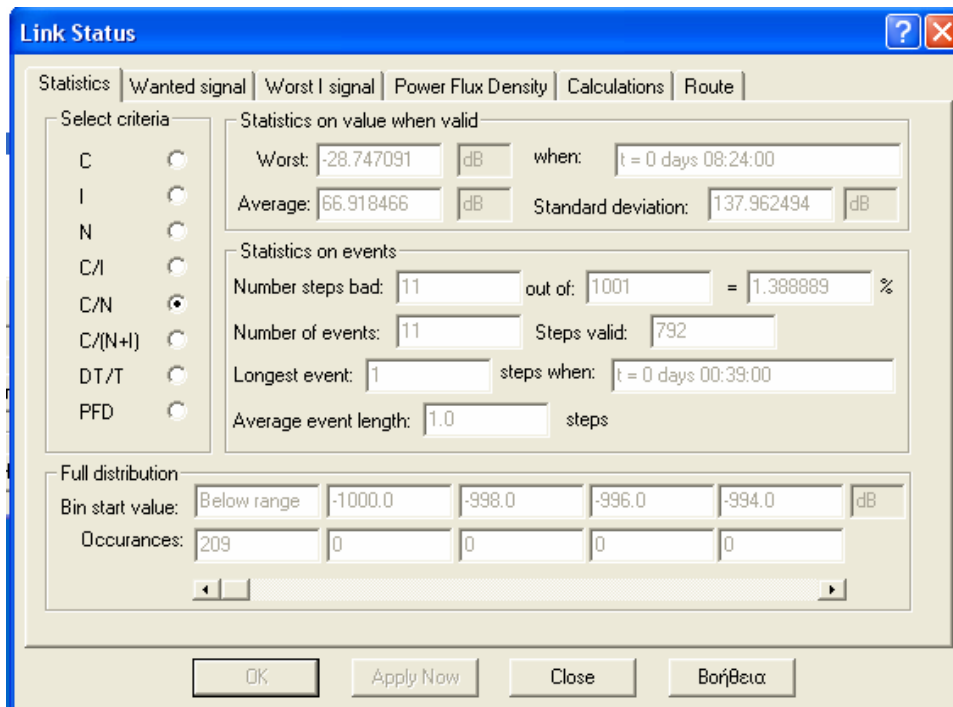
Παρατηρούμε πως και στις τρεις ζώνες της περιοχής κάλυψης ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος που υπολογίσαμε είναι πολύ μεγαλύτερος του απαιτούμενου σηματοθορυβικού λόγου των 10.5 dB για μετάδοση τόσο δεδομένων όσο και audio και video. Τα αποτελέσματα είναι ιδανικά γιατί η μορφολογία του εδάφους είναι ομαλή χωρίς μεγάλους ορεινούς όγκους (παραθαλάσσια ζώνη), πράγμα που σημαίνει μικρές απώλειες περίθλασης και επίσης γιατί το σήμα διανύει μικρή απόσταση από τον πομπό στο δέκτη, εξ' αιτίας του χαμηλού υψομέτρου της πλατφόρμας με αποτέλεσμα μικρές απώλειες ελευθέρου χώρου.

Συγκεκριμένα, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 66.46 dB, μέσο περιθώριο 55.96 dB ενώ έχουμε 100% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 53.01 dB, μέσο περιθώριο 42.51 dB ενώ έχουμε 98.44% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 54.38 dB, μέσο περιθώριο 43.88 dB ενώ έχουμε 94.41% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB.

➤ Για την Κεφαλλονιά έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

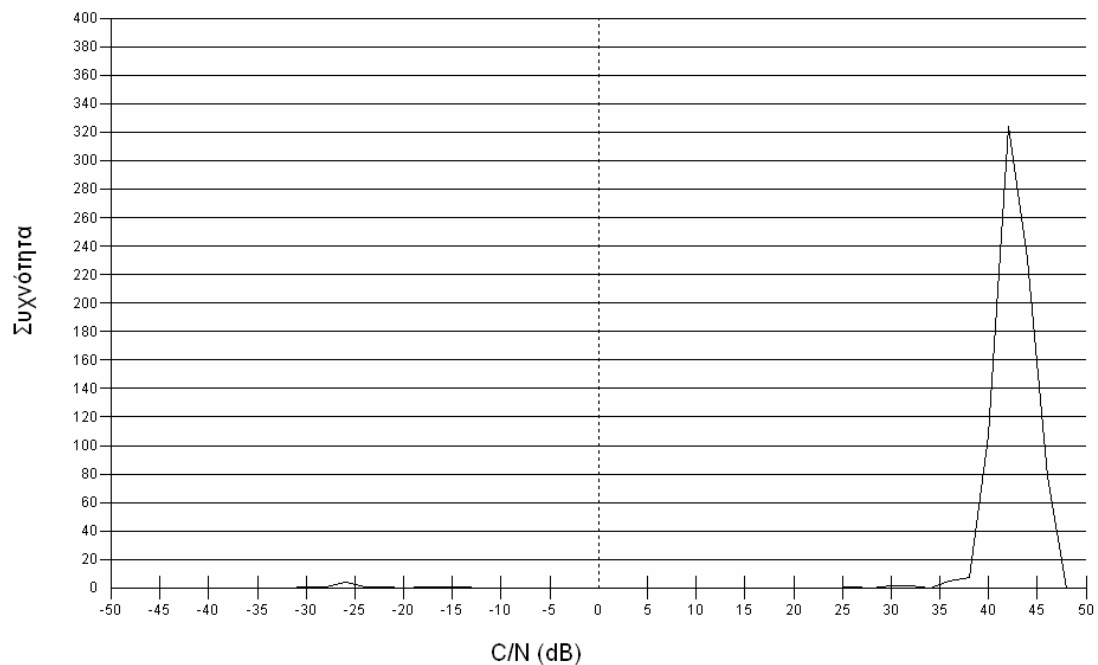


Σχήμα 7.156 Πλατφόρμα στα 3 km πάνω από την Κεφαλλονιά

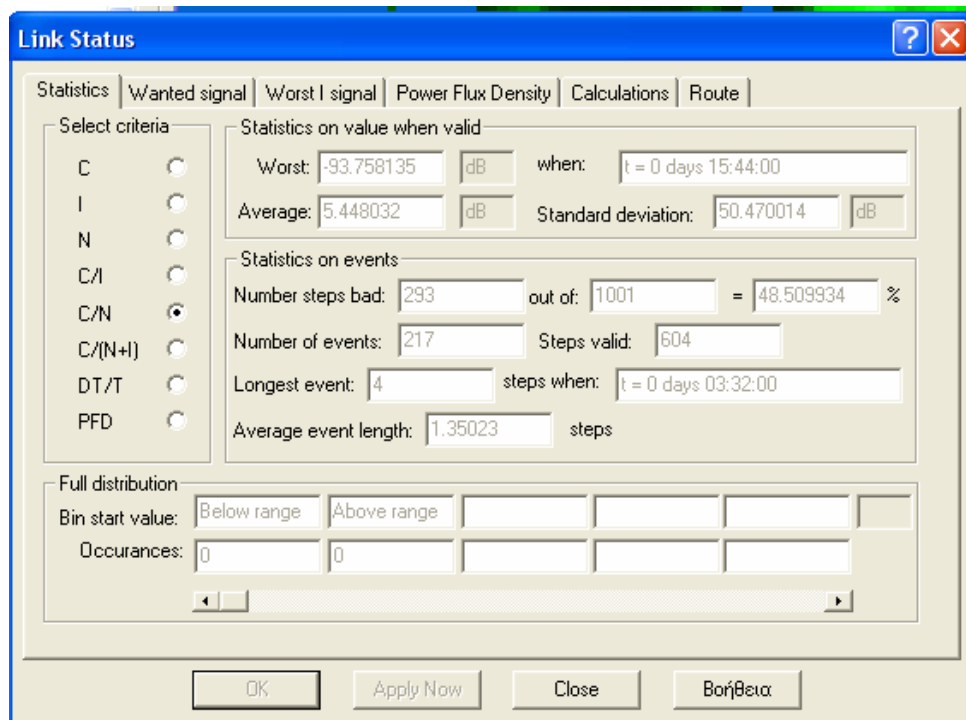


Σχήμα 7.157 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Κεφαλλονιά (3 km – UAC -2000 kbps)

πλατφόρμα στα 3 km πάνω από την Κεφαλλονιά - UAC



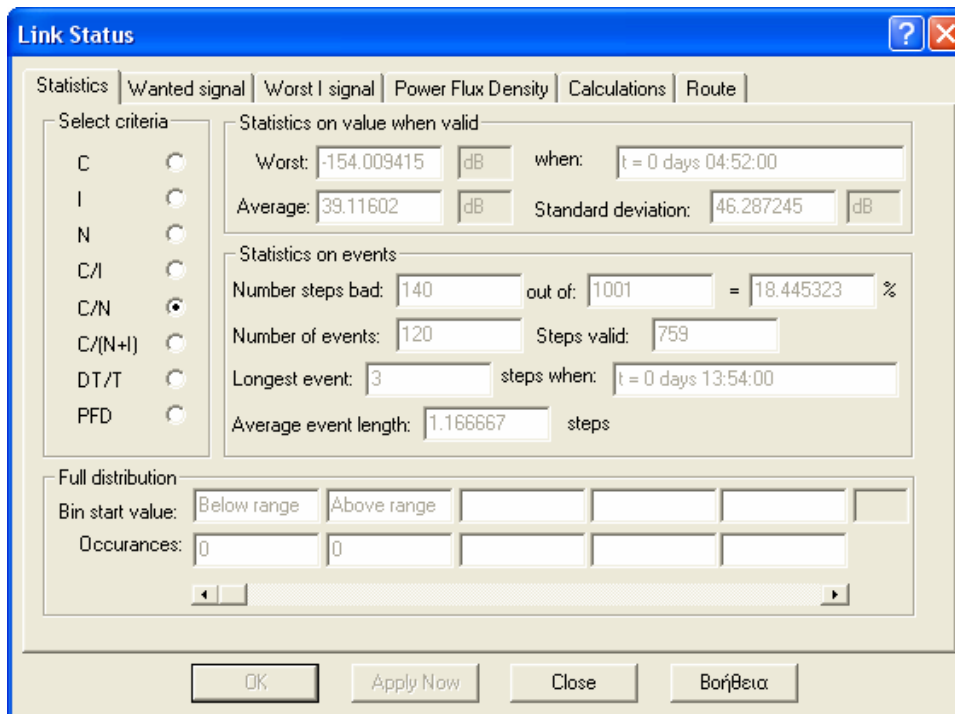
Διάγραμμα 7.133 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



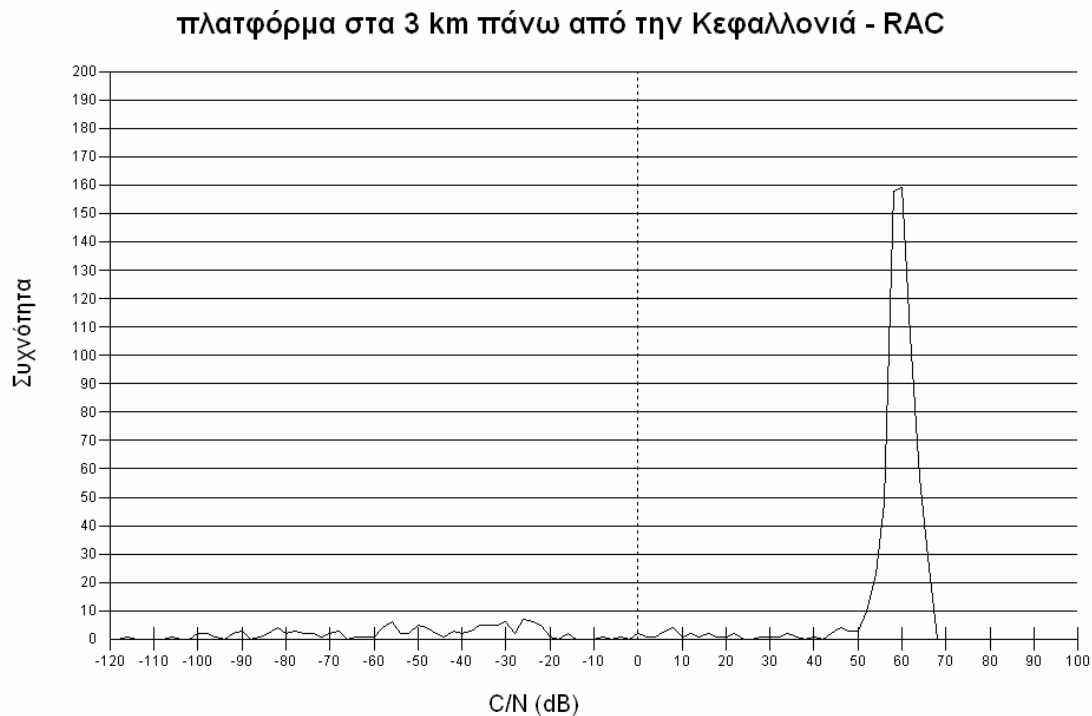
Σχήμα 7.158 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Κεφαλλονιά (3 km – SAC - 2000 kbps)



Διάγραμμα 7.134 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.59 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από την Κεφαλλονιά (3 km – RAC - 2000 kbps)

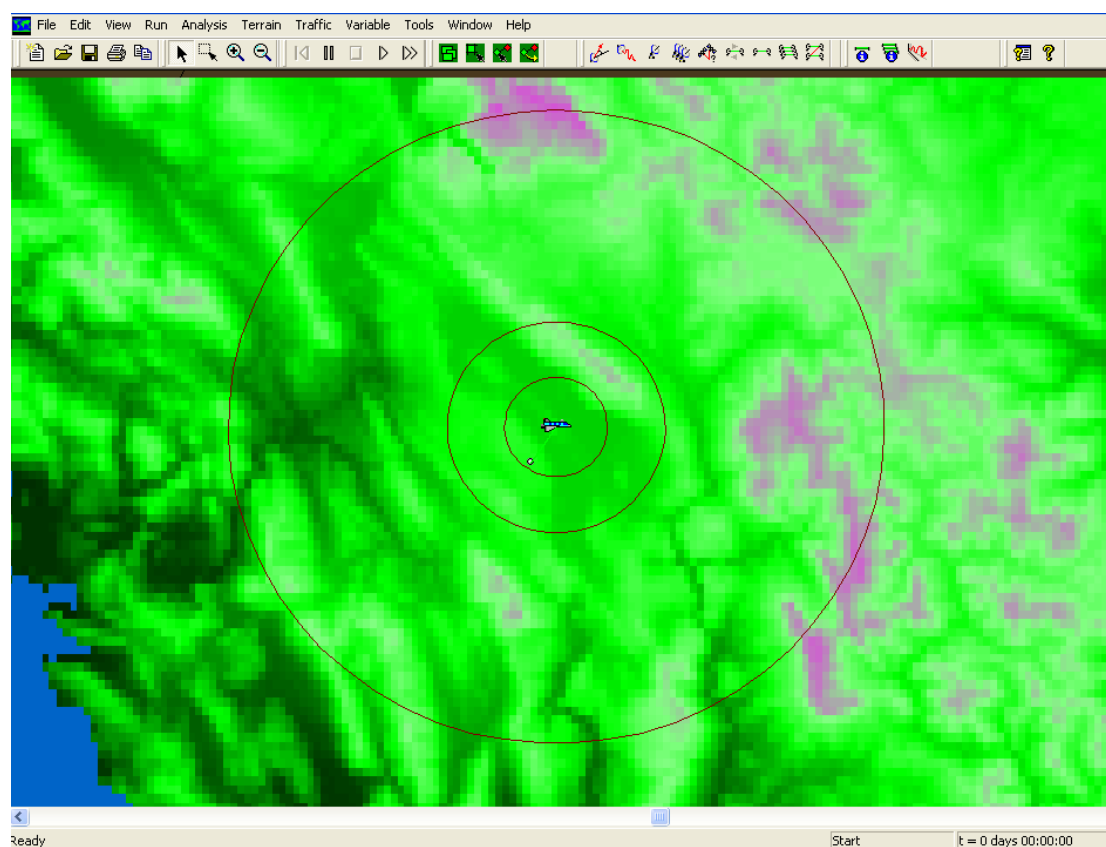


Διάγραμμα 7.135 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθρομβικού λόγου

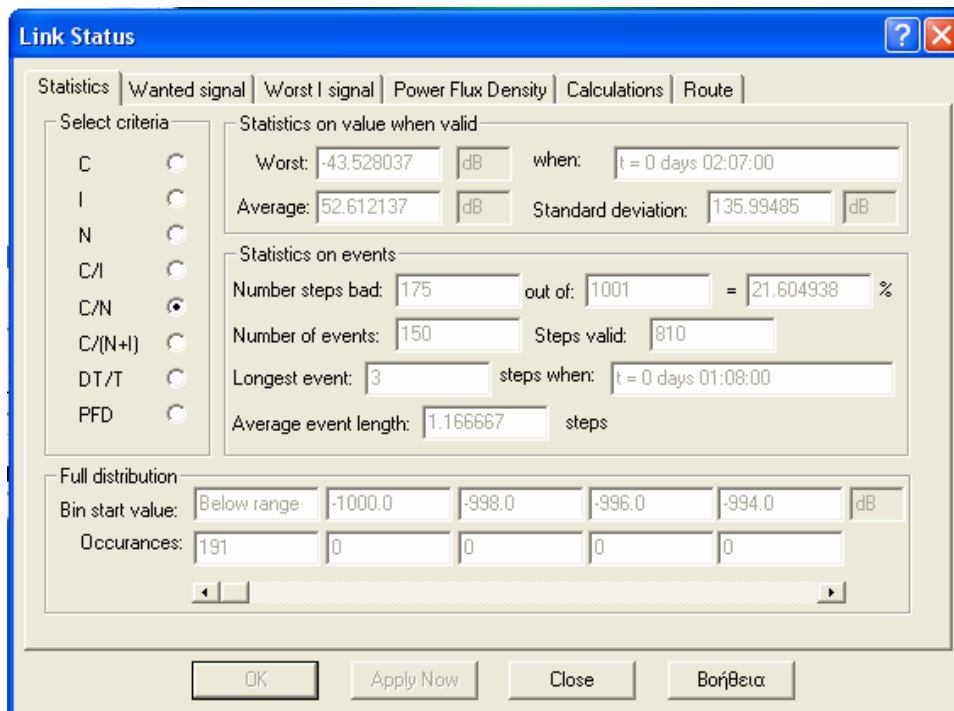
Παρατηρούμε πως μόνο στη UAC και στην RAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος που υπολογίσαμε είναι μεγαλύτερος του απαιτούμενου σηματοθορυβικού λόγου των 10.5 dB για μετάδοση τόσο δεδομένων όσο και audio και video. Στις SAC και RAC ζώνες ένας μεγάλος αριθμός των μετρήσεων βρέθηκε κάτω από το όριο που είχαμε θέσει, λόγω των μεγάλων ορεινών όγκων που υπάρχουν (ορεινή ζώνη). Τα υψηλά φυσικά εμπόδια σε συνδυασμό με το χαμηλό υψόμετρο της πλατφόρμας καθιστά δύσκολη την οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη. Το γεγονός αυτό προκαλεί μεγάλες απώλειες περίθλασης στις οποίες οφείλεται ο ιδιαίτερα χαμηλός σηματοθορυβικός λόγος. Ο υψηλός μέσος σηματοθορυβικός λόγος της RAC περιοχής οφείλεται στο γεγονός ότι μεγάλο μέρος της καλύπτεται από θάλασσα. Λόγω της έλλειψης υψηλών εμποδίων στο θαλάσσιο χώρο, ο σηματοθορυβικός λόγος είναι ιδιαίτερα υψηλός και η ύπαρξη αυτών των σημείων εξομαλύνει το μέσο σηματοθορυβικό λόγο.

Συγκεκριμένα, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 66.92 dB, μέσο περιθώριο 56.42 dB ενώ έχουμε 98.61% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 5.45 dB, ενώ μόλις 51.5% βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 39.12 dB, μέσο περιθώριο 28.62 dB ενώ έχουμε 81.55% των μετρήσεων κάτω από το κατώφλι των 10.5 dB.

➤ Για τα Γιάννενα έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

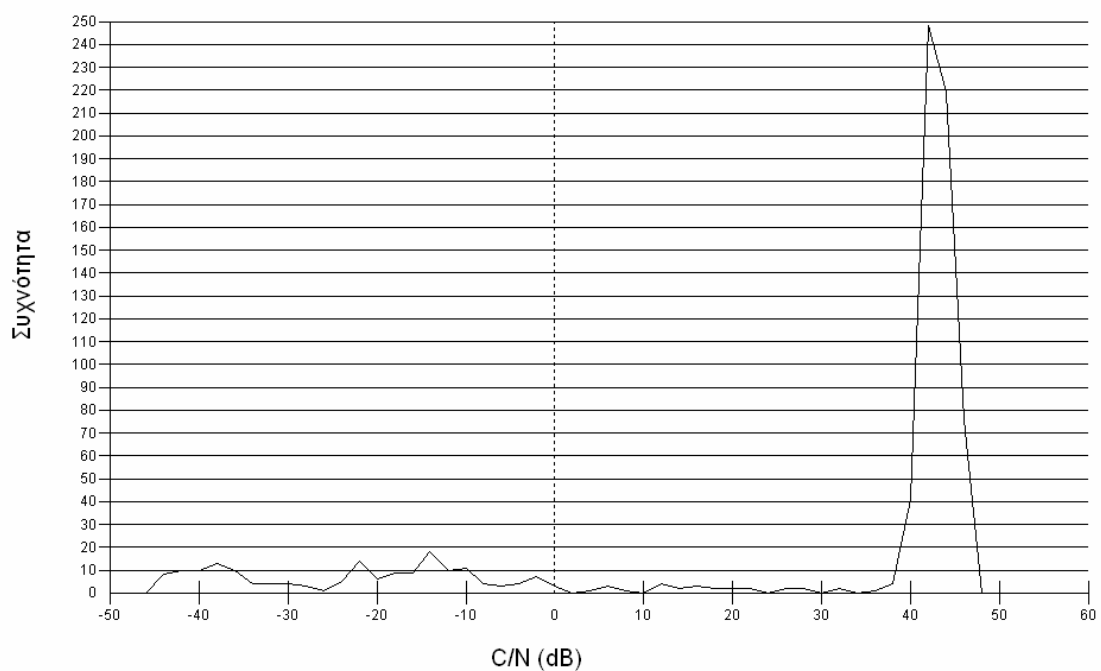


Σχήμα 7.160 Πλατφόρμα στα 3 km πάνω από τα Γιάννενα

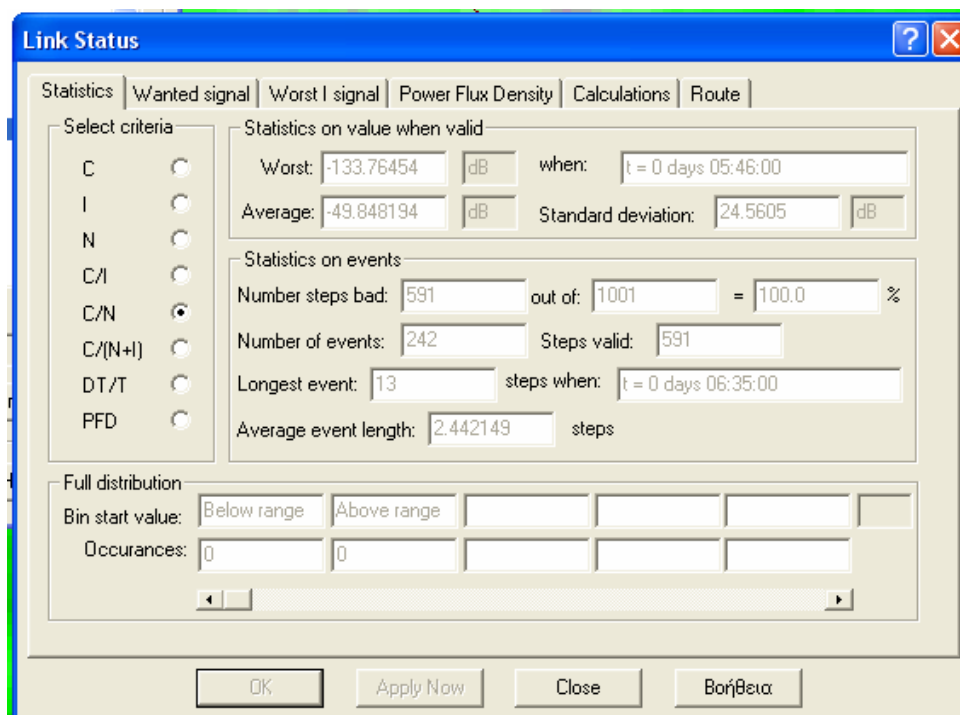


Σχήμα 7.161 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τα Γιάννενα (3 km – UAC -2000 kbps)

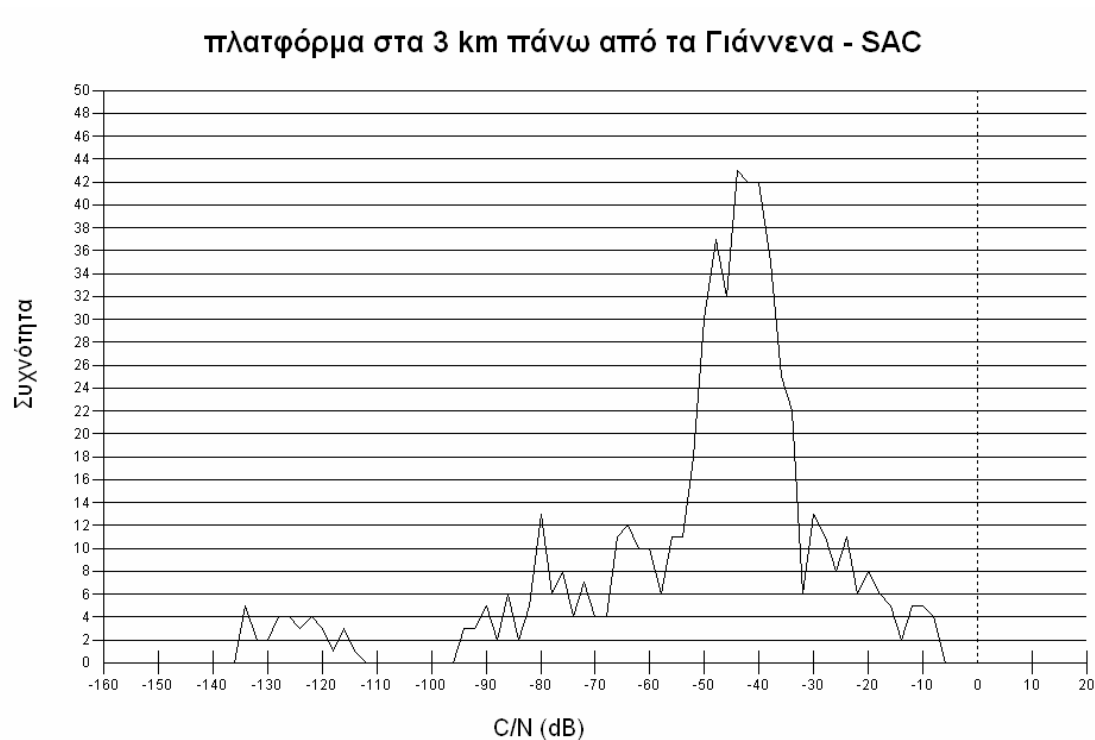
πλατφόρμα στα 3 km πάνω από τα Γιάννενα - UAC



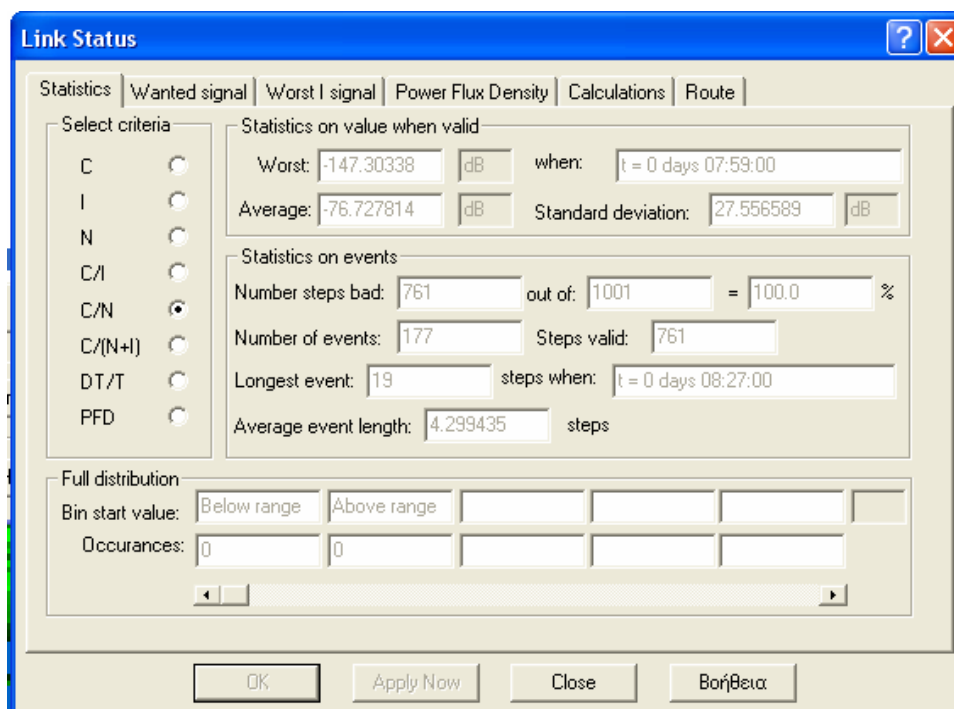
Διάγραμμα 7.136 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.162 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τα Γιάννενα (3 km – SAC - 2000 kbps)



Διάγραμμα 7.137 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου



Σχήμα 7.163 Στατιστικά αποτελέσματα για την πλατφόρμα πάνω από τα Γιάννενα (3 km – RAC - 2000 kbps)



Διάγραμμα 7.140 – Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου

Παρατηρούμε πως μόνο στη UAC ζώνη ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος που υπολογίσαμε είναι μεγαλύτερος του απαιτούμενου σηματοθορυβικού λόγου των 10.5 dB για μετάδοση τόσο δεδομένων όσο και audio και video. Σε όλες τις ζώνες της περιοχής κάλυψης ένας μεγάλος αριθμός των μετρήσεων βρέθηκε κάτω από το όριο που είχαμε θέσει, λόγω των μεγάλων ορεινών όγκων που υπάρχουν (ορεινή ζώνη). Τα υψηλά φυσικά εμπόδια σε συνδυασμό με το χαμηλό υψόμετρο της πλατφόρμας καθιστά δύσκολη την οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη. Το γεγονός αυτό προκαλεί μεγάλες απώλειες περίθλασης στις οποίες οφείλεται ο ιδιαίτερα χαμηλός σηματοθορυβικός λόγος.

Συγκεκριμένα, στη UAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο 52.61 dB, μέσο περιθώριο 42.11 dB ενώ έχουμε 78.4% των μετρήσεων πάνω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην SAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο -49.85 dB, ενώ όλες οι μετρήσεις βρίσκονται κάτω από το κατώφλι των 10.5 dB. Στην RAC ζώνη έχουμε μέσο σηματοθορυβικό λόγο -76.73 dB, ενώ έχουμε 100% των μετρήσεων κάτω από το κατώφλι των 10.5 dB.

Αξίζει να αναφερθεί ότι στα παραπάνω αποτελέσματα δεν έχουν ληφθεί υπόψη οι απώλειες περίθλασης λόγω των κτιρίων στις μεγάλες αστικές περιοχές, κυρίως Αθήνα, Θεσσαλονίκη και Ηράκλειο που έχουν υψηλό δείκτη δόμησης, αφού το Visualyse παρέχει χάρτες που περιλαμβάνουν μόνο τα φυσικά εμπόδια.

7.6 Συμπεράσματα για όλα τα σενάρια ραδιοκάλυψης της Ελλάδας

Στο παραπάνω κεφάλαιο παρουσιάζονται 4 διαφορετικά σενάρια της ραδιοκάλυψης της Ελλάδας, με βάση το υψόμετρο στο οποίο είναι τοποθετημένες οι πλατφόρμες, και τα αποτελέσματα για το σηματοθορυβικό λόγο που προέκυψαν από τη μελέτη κάθε ενός διεξοδικά.

Το πρώτο σενάριο πραγματοποιείται με τις πλατφόρμες στα 21 km. Χρησιμοποιήθηκαν 7 πλατφόρμες για την κάλυψη ολόκληρου του Ελλαδικού χώρου, και πήραμε αποτελέσματα πολύ ικανοποιητικά για όλες τις περιοχές και για όλες τις ζώνες κάλυψης για μετάδοση ήχου, βίντεο και data.

Το δεύτερο σενάριο πραγματοποιείται με τις πλατφόρμες στα 15 km. Χρησιμοποιήθηκαν 10 πλατφόρμες για την κάλυψη ολόκληρου του Ελλαδικού χώρου, με τα αποτελέσματα σε ορισμένες περιοχές όπως η Πάτρα, η Κέρκυρα και η Θεσσαλονίκη να είναι πολύ δυσμενή.

Το τρίτο σενάριο πραγματοποιείται με τις πλατφόρμες στα 25 km. Χρησιμοποιήθηκαν μόνο 4 πλατφόρμες για την κάλυψη ολόκληρου του Ελλαδικού χώρου, με τα αποτελέσματα πάρα πολύ καλά για όλες τις περιοχές και για όλες τις ζώνες κάλυψης για μετάδοση ήχου, βίντεο και data.

Από τα παραπάνω τρία σενάρια καταλήξαμε στο συμπέρασμα, ότι η τοποθέτηση των HAP στα 15 km δεν αποτελεί καλή λύση λόγω χαμηλής ποιότητας κάλυψης του Ελλαδικού χώρου, ενώ αντίθετα τόσο το σενάριο στα 21 km όσο και αυτό στα 25 km έχουν πολύ καλά αποτελέσματα. Η μόνη τους διαφορά είναι το

κόστος υλοποίησης τους. Το πρώτο έχει 7 πλατφόρμες αντί για 4 που έχει το δεύτερο, γεγονός που συνεπάγεται μεγαλύτερο κόστος για το πρώτο, αλλά στο σενάριο των 25 km το κόστος επιβαρύνεται λόγω της μεγαλύτερης δυσκολίας να τοποθετηθούν και να διατηρηθούν οι πλατφόρμες πιο ψηλά από ότι στο σενάριο των 21 km. Δεν μπορούμε να καταλήξουμε με σιγουριά στην επιλογή ενός από τα δύο αφού το κάθε ένα ικανοποιεί διαφορετικά κριτήρια. Αποτελούν και τα δύο καλές λύσεις και προσφέρουν πολύ ικανοποιητική ραδιοκάλυψη της Ελλάδας.

Αξίζει να αναφερθεί ότι στα αποτελέσματα για την περιοχή κάλυψης της κάθε πλατφόρμας δεν έχει υπολογιστεί το γεγονός ότι ένας επίγειος σταθμός μπορεί να εξυπηρετείται ταυτόχρονα από περισσότερες από μία πλατφόρμες λόγω των επικαλυπτόμενων περιοχών κάλυψης. Στόχος μας ήταν οι περιοχές αυτές να είναι όσο το δυνατόν μικρότερες, αλλά εξαιτίας της κυκλικής τους επιφάνειας είναι αδύνατο να εξαλειφθούν. Επομένως γίνεται αντιληπτό πως τα αποτελέσματα που καταλήξαμε μετά τη μελέτη και των τριών σεναρίων, στην πράξη θα είναι ακόμη καλύτερα αφού ένας επίγειος σταθμός χρησιμοποιώντας κατάλληλες στρατηγικές ανίχνευσης, έχει τη δυνατότητα να συνδεθεί με το HAP που του παρέχει την καλύτερη ποιότητα ζεύξης.

Τέλος στο τέταρτο σενάριο τοποθετήσαμε πλατφόρμες στα 3 km πάνω από πέντε περιοχές της Ελλάδας για λόγους εκτάκτου ανάγκης, όπως περιπτώσεις καταστροφών, πυρκαγιών, σεισμών κ.α. Οι περιοχές επιλέχθηκαν ως εξής: Η Αθήνα και η Θεσσαλονίκη, οι δύο μεγαλύτερες πόλεις του Ελλαδικού χώρου, το Ηράκλειο και τα Γιάννενα, μια παραθαλάσσια και μια ορεινή πόλη, και η Κεφαλλονιά, μια από τις πιο σεισμογενείς περιοχές της Ελλάδας και καταγράφηκαν τα αποτελέσματα. Αφού προσομοιώσαμε το σενάριο στο Visualyse, καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η ιδέα της χρησιμοποίησης των HAP σε καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης είναι πολύ αποτελεσματική για την Αθήνα, τη Θεσσαλονίκη και το Ηράκλειο. Το κόστος της τοποθέτησης και της διατήρησης της πλατφόρμας σε ένα σχετικά χαμηλό ύψος είναι σαφώς μικρότερο, η διαδικασία επιτυγχάνεται γρήγορα και προσφέρει τη δυνατότητα παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών άμεσα, όποτε εμείς το κρίνουμε αναγκαίο. Αντίθετα δυσμενή αποτελέσματα παρουσιάστηκαν στην Κεφαλλονιά και κυρίως στα Γιάννενα, προβλήματα που οφείλονται στην ιδιαίτερη μορφολογία του εδάφους, η οποία σε συνδυασμό με το χαμηλό ύψος της πλατφόρμας συνεισφέρουν στις μεγάλες απώλειες λόγω περίθλασης και συνακόλουθα στο χαμηλό σηματοθορυβικό λόγο. Επομένως σαν πρώτο βήμα, θα προτείναμε την υλοποίηση αυτής της ιδέας στις περιοχές που μας εξασφαλίζουν καλά αποτελέσματα και στη συνέχεια να εξεταστεί κατά πόσο είναι εφικτό και χρήσιμο να εφαρμοστεί και σε άλλες περιοχές της Ελλάδας.

Βιβλιογραφία 7^{ου} κεφαλαίου

- [1] FP6-IST-2003-506745 CAPANINA, DELIVERABLE NUMBER D01
Applications and Services for Broadband HAP Delivery

- [2] ITU-R RECOMMENDATION F.1500, ***Preferred characteristics of systems in the fixed service using high altitude platforms operating in the bands 47.2-47.5 GHz and 47.9-48.2 GHz***

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο

ΟΠΤΙΚΗ ΖΕΥΞΗ ΜΕΤΑΞΥ ΔΥΟ ΠΛΑΤΦΟΡΜΩΝ ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΩΝ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΘΗΝΑ ΚΑΙ ΤΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

8.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάζουμε κατά πόσο είναι εφικτή η επικοινωνία δύο περιοχών οι οποίες εξυπηρετούνται από δύο διαφορετικές στρατοσφαιρικές πλατφόρμες. Με βάση το σκεπτικό μας οι χρήστες κάθε περιοχής θα επικοινωνούν με την πλατφόρμα που τους εξυπηρετεί και στη συνέχεια το σήμα θα μεταδίδεται μέσω μίας οπτικής ζεύξης η οποία θα εγκατασταθεί μεταξύ των δύο ΗΑΡ. Φυσικά, αφού αποδειχτεί ότι η ζεύξη μεταξύ των δύο ΗΑΡ ικανοποιεί τα κριτήρια που έχουμε θέσει για να θεωρηθεί ότι έχουμε επιτυχή μετάδοση του σήματος, μπορούμε να δημιουργήσουμε περισσότερες ζεύξεις της κάθε πλατφόρμας, με περισσότερες από μία πλατφόρμες. Η χρησιμότητα της ύπαρξης της ζεύξεων αυτών είναι προφανής και έγκειται στη δυνατότητα ανάπτυξης ενός στρατοσφαιρικού δικτύου το οποίο θα συμβάλλει στην επικοινωνία απομακρυσμένων μεταξύ τους περιοχών.

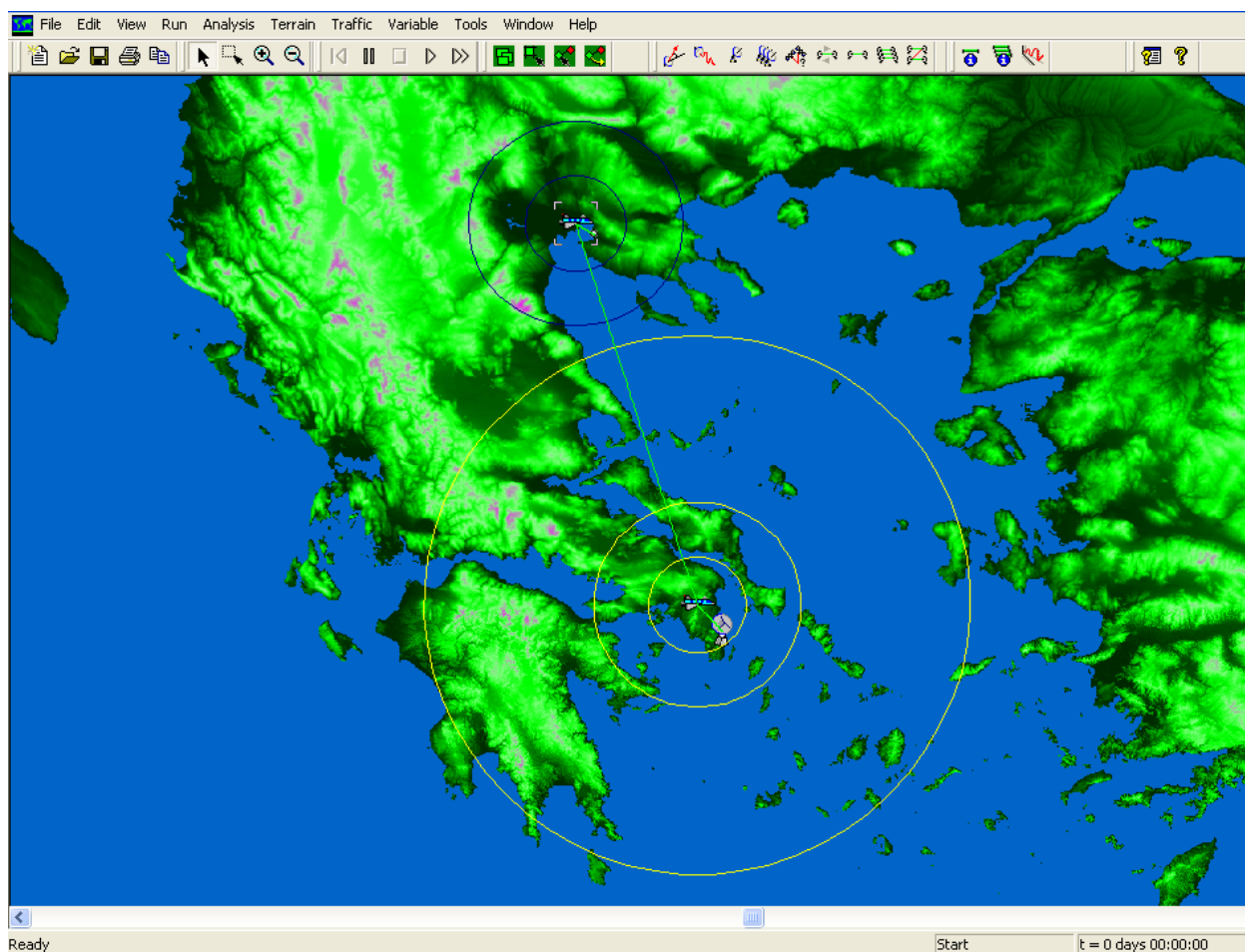
Η μελέτη που κάναμε περιλαμβάνει τη ζεύξη μεταξύ δύο πλατφορμών οι οποίες εξυπηρετούν τις δύο μεγαλύτερες πόλεις της Ελλάδας, Αθήνας και Θεσσαλονίκης και στη συνέχεια παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα της σύνδεσης.

Η ζεύξη μεταξύ των δύο πλατφορμών έγινε στις συχνότητες που έχει αναθέσει η ITU για τις υπηρεσίες των ΗΑΡs, ενώ ως πρότυπο κεραίας για τη σύνδεση αυτή χρησιμοποιήσαμε την κεραία με τα χαρακτηριστικά της UAC ζώνης. Ο λόγος που επιλέξαμε τη συγκεκριμένη κεραία είναι ότι έχει μικρότερη ισχύ εκπομπής και χαμηλότερο κέρδος συγκριτικά με αυτές των ζωνών SAC και RAC, οπότε τα αποτελέσματα που πήραμε ήταν τα χειρότερα δυνατά.

Το σήμα το οποίο εκπέμπεται από το επίγειο τερματικό, μεταδίδεται μέσω της άνω ζεύξης, συλλέγεται από την κεραία του δέκτη της πλατφόρμας, απαλείφεται ο θόρυβός, ενισχύεται και στη συνέχεια αντί να μεταδοθεί μέσω της κάτω ζεύξης σε ένα επίγειο χρήστη ο οποίος βρίσκεται στην περιοχή κάλυψης της πλατφόρμας (όπως εξάλλου γινόταν στα προηγούμενα σενάρια που εξετάσαμε), μεταδίδεται μέσω της οπτικής ζεύξης των δύο πλατφορμών. Η πλατφόρμα δέκτης συλλέγει το σήμα, ακολουθεί την ανάλογη διαδικασία και εκπέμπει το σήμα προς ένα χρήστη ο οποίος βρίσκεται εντός της περιοχής κάλυψής της. Όπως φαίνεται από τα παραπάνω, οι άνω και οι κάτω ζεύξεις, δηλαδή οι ζεύξεις από τον επίγειο πομπό στην πρώτη πλατφόρμα και από τη δεύτερη πλατφόρμα στον επίγειο δέκτη δε χρειάζεται να μελετηθούν αφού αυτό έχει γίνει στο κεφάλαιο 6 για κάθε περιοχή της Ελλάδας. Σε αυτό το κεφάλαιο θα μελετήσουμε αποκλειστικά την επίδοση της ζεύξης μεταξύ των δύο πλατφορμών.

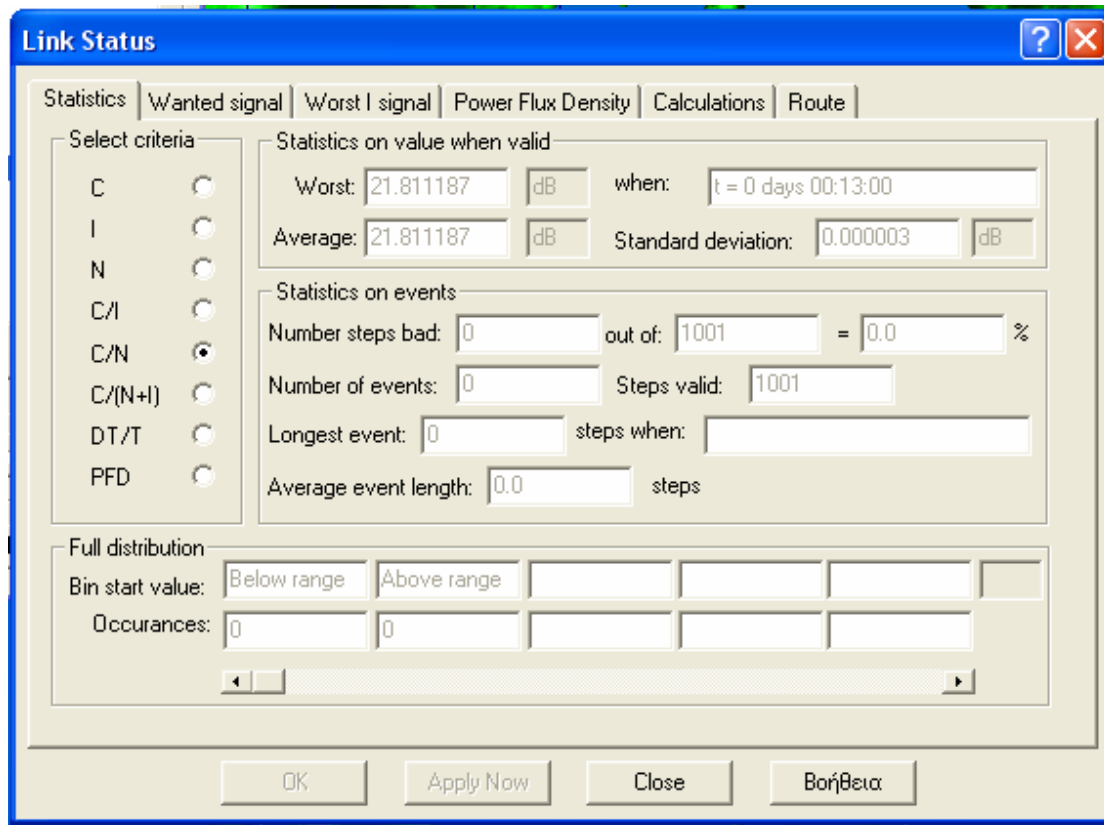
8.2 Ζεύξη μεταξύ δύο πλατφορμών τοποθετημένων στα 21 km πάνω από την Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη

Ξεκινήσαμε τη μελέτη μας τοποθετώντας τις πλατφόρμες στα 21 km. Παρακάτω βλέπουμε την εικόνα της σύνδεσης των δύο πλατφορμών πάνω από τις δύο πόλεις από το Visualyse.



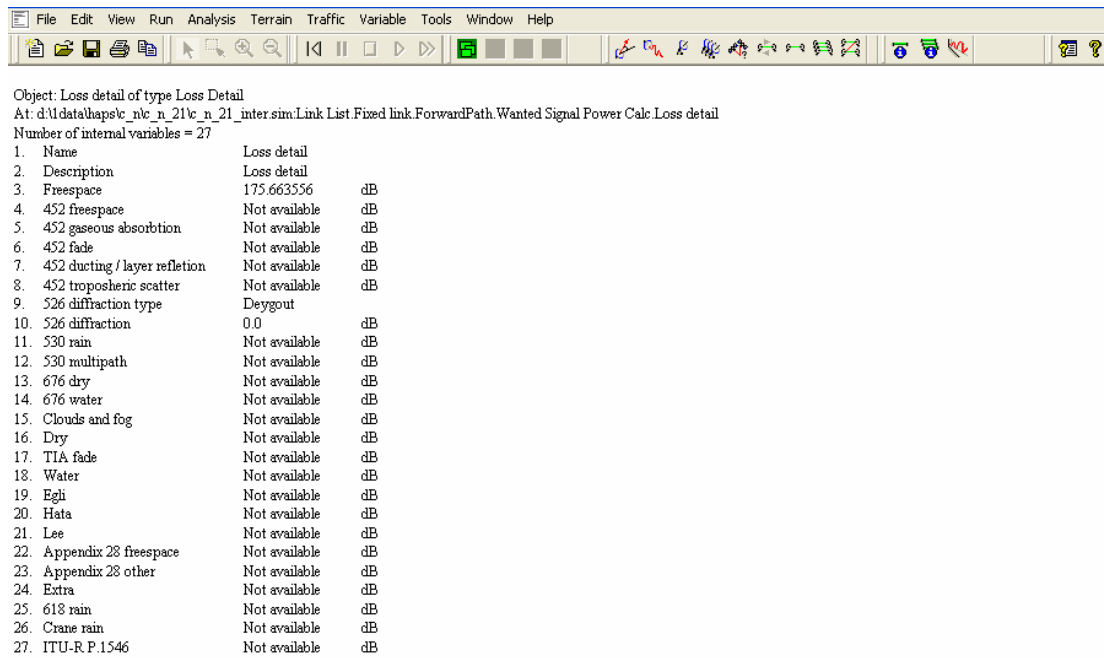
Σχήμα 8.1 Οπτική ζεύξη μεταξύ δύο HAP τοποθετημένων στα 21 km πάνω από την Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη

- Στη συνέχεια ακολουθούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης



Σχήμα 8.2 Στατιστικά αποτελέσματα για τη ζεύξη μεταξύ Αθήνας – Θεσσαλονίκης στα 21 km - 2000 kbps

Παρατηρούμε πως ο σηματοθορυβικός λόγος παραμένει σταθερός σε όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι απώλειες δε μεταβάλλονται, μιας και τόσο η βροχή όσο και η περίθλαση δεν παίζουν κανένα ρόλο στην εξασθένηση του σήματος όταν αυτό διαδίδεται σε αυτό το υψόμετρο. Επειδή θεωρούμε πως οι πλατφόρμες είναι ακίνητες, η απόστασή τους είναι σταθερή, άρα και οι απώλειες ελευθέρου χώρου της ζεύξης οι οποίες εξαρτώνται μόνο από την απόσταση και τη συχνότητα του φέροντος της ζεύξης. Αναλυτικά οι απώλειες της ζεύξης φαίνονται και στον ακόλουθο πίνακα από το Visualyse:



Object: Loss detail of type Loss Detail
 At: d:\data\hps\c_nc_n_21\c_n_21_inter.sim:Link List.Fixed link.ForwardPath.Wanted Signal Power Calc.Loss detail
 Number of internal variables = 27

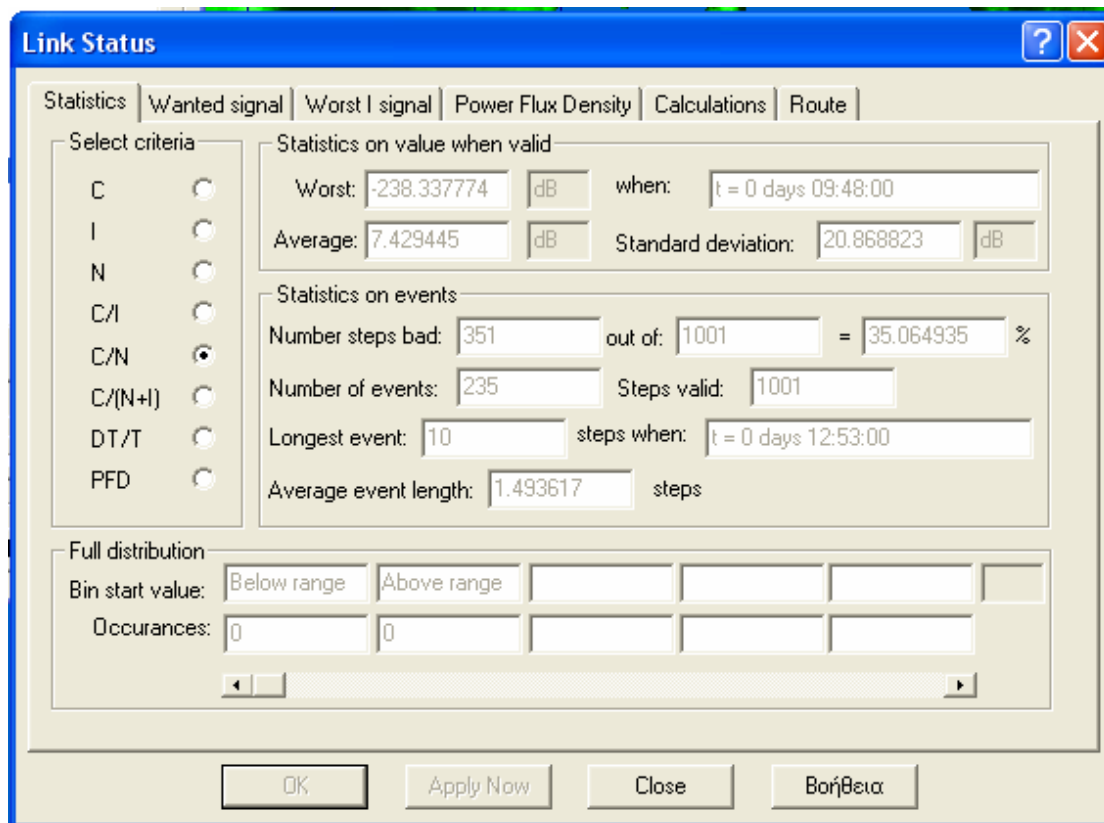
1.	Name	Loss detail	
2.	Description	Loss detail	
3.	Freospace	175.663556	dB
4.	452 freospace	Not available	dB
5.	452 gaseous absorbtion	Not available	dB
6.	452 fade	Not available	dB
7.	452 ducting / layer reflection	Not available	dB
8.	452 tropospheric scatter	Not available	dB
9.	526 diffraction type	Deygout	
10.	526 diffraction	0.0	dB
11.	530 rain	Not available	dB
12.	530 multipath	Not available	dB
13.	676 dry	Not available	dB
14.	676 water	Not available	dB
15.	Clouds and fog	Not available	dB
16.	Dry	Not available	dB
17.	TIA fade	Not available	dB
18.	Water	Not available	dB
19.	Egli	Not available	dB
20.	Hata	Not available	dB
21.	Lee	Not available	dB
22.	Appendix 28 freospace	Not available	dB
23.	Appendix 28 other	Not available	dB
24.	Extra	Not available	dB
25.	618 rain	Not available	dB
26.	Crane rain	Not available	dB
27.	ITU-R.P.1546	Not available	dB

Σχήμα 8.3 Απώλειες της ζεύξης μεταξύ Αθήνας – Θεσσαλονίκης στα 21 km – 2000 kbps

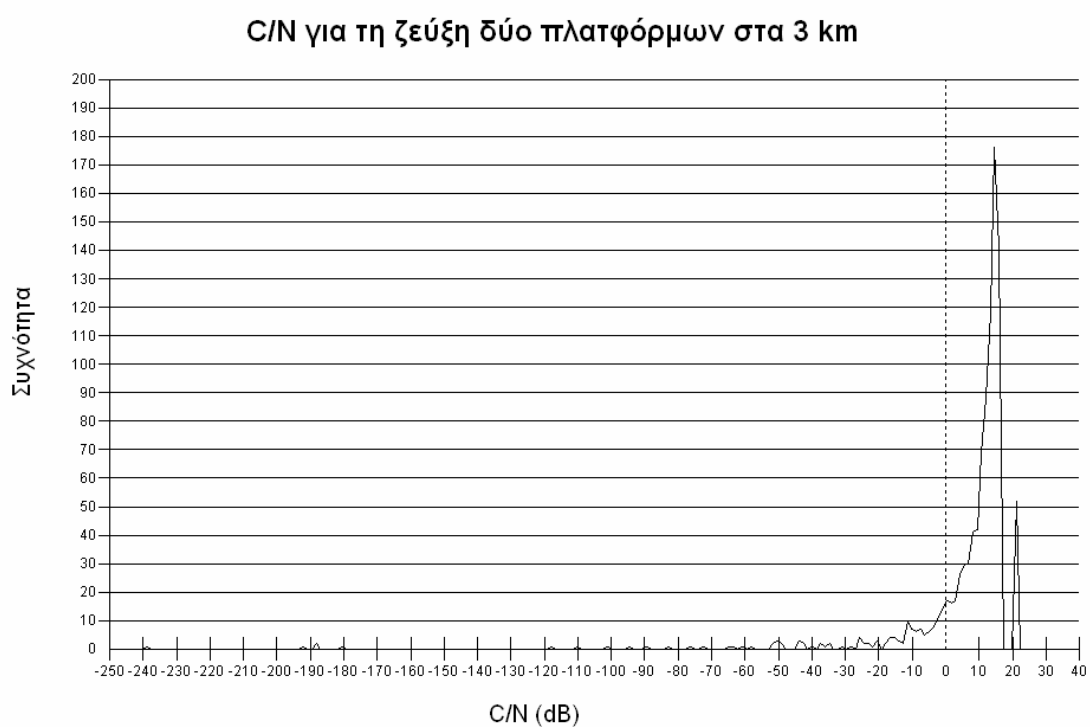
Ο σηματοθορυβικός λόγος της ζεύξης είναι 21.81 dB σε όλες τις χρονικές στιγμές της προσομοίωσης και υπερβαίνει το κατώφλι των 10.5 dB που έχουμε θέσει ως όριο για την επιτυχή μετάδοση δεδομένων, audio και video κατά 11.31 dB. Άρα έχοντας εξασφαλίσει ένα ικανοποιητικό περιθώριο, θεωρούμε ότι είναι δυνατή η σύνδεση Αθήνας και Θεσσαλονίκης με τις πλατφόρμες τοποθετημένες στα 21 km.

8.3 Ζεύξη μεταξύ δύο πλατφορμών τοποθετημένων στα 3 km πάνω από την Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη

Επόμενο μας βήμα ήταν να επιχειρήσουμε να κατεβάσουμε τις πλατφόρμες όσο το δυνατόν χαμηλότερα, έτσι ώστε να καλύψουμε τις περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης που αναλύσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Τοποθετήσαμε λοιπόν τις πλατφόρμες στα 3 km και πραγματοποιήσαμε τις μετρήσεις.



Σχήμα 8.4 Στατιστικά αποτελέσματα για τη ζεύξη μεταξύ Αθήνας – Θεσσαλονίκης στα 3 km - 2000 kbps



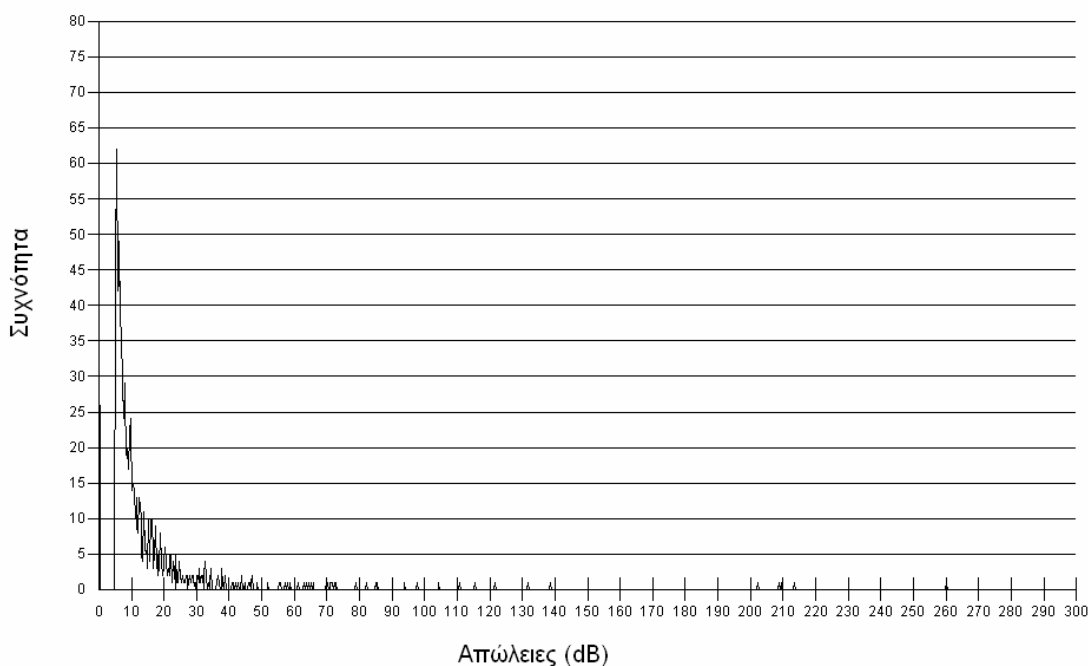
Διάγραμμα 8.1 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σηματοθορυβικού λόγου για τη ζεύξη Αθήνας – Θεσσαλονίκης στα 3 km

Βλέπουμε πως ο μέσος σηματοθορυβικός λόγος είναι 7.43 dB, οπότε βρίσκεται κάτω από το όριο των 10.5 dB. Συγκεκριμένα μόλις το 65% των μετρήσεων κρίνονται ικανοποιητικές για τη μετάδοση δεδομένων, audio και video. Το παραπάνω οφείλεται στο γεγονός ότι αυτή τη φορά εκτός από τις απώλειες ελευθέρου χώρου, έχουμε και απώλειες λόγω βροχής, αφού οι πλατφόρμες είναι τοποθετημένες σε χαμηλό υψόμετρο. Παρακάτω παρουσιάζεται μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή της προσομοίωσης όπου οι απώλειες λόγω βροχής είναι αρκετά μεγάλες.

1.	Name	Loss detail	
2.	Description	Loss detail	
3.	Freespace	175.511621	dB
4.	452 freespace	Not available	dB
5.	452 gaseous absorption	Not available	dB
6.	452 fade	Not available	dB
7.	452 ducting / layer reflection	Not available	dB
8.	452 tropospheric scatter	Not available	dB
9.	526 diffraction type	Deygout	
10.	526 diffraction	0.0	dB
11.	530 rain	Not available	dB
12.	530 multipath	Not available	dB
13.	676 dry	Not available	dB
14.	676 water	Not available	dB
15.	Clouds and fog	Not available	dB
16.	Dry	Not available	dB
17.	TIA fade	Not available	dB
18.	Water	Not available	dB
19.	Egli	Not available	dB
20.	Hata	Not available	dB
21.	Lee	Not available	dB
22.	Appendix 28 freespace	Not available	dB
23.	Appendix 28 other	Not available	dB
24.	Extra	Not available	dB
25.	618 rain	260.173428	dB
26.	Crane rain	Not available	dB
27.	ITU-R.P.1546	Not available	dB

Σχήμα 8.5 Απώλειες της ζεύξης μεταξύ Αθήνας – Θεσσαλονίκης στα 3 km – 2000 kbps

Απώλειες λόγω βροχής για ζεύξη σε ύψος 3 km



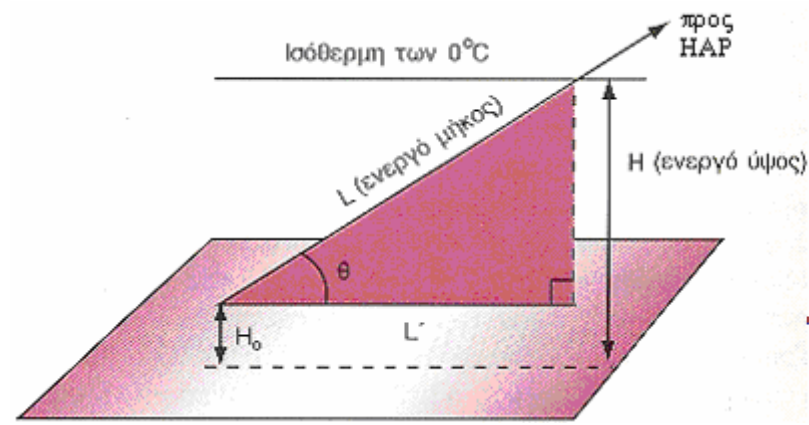
Διάγραμμα 8.2 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των απωλειών λόγω βροχής για τη ζεύξη Αθήνας – Θεσσαλονίκης στα 3 km

8.4 Επίδραση της βροχής στην επίδοση συστημάτων επικοινωνιών

Έχει παρατηρηθεί ότι η κατακόρυφη δομή της βροχής ως μέσου διάδοσης χαρακτηρίζεται από δύο περιοχές. Η άνω περιοχή αποτελείται από ένα μείγμα πάγου και χιονιού και δεν αποσβένει σημαντικά το σήμα σε συχνότητες χαμηλότερες των 60 GHz. Στην κάτω περιοχή, εμφανίζεται συνήθως μόνο βροχή που αποτελεί την κύρια αιτία της απόσβεσης των σημάτων πέραν των απωλειών ελευθέρου χώρου. Συνεπώς, η εξασθένιση του σήματος λόγω βροχής θεωρείται ότι γίνεται μόνο κατά το τμήμα της διαδρομής που βρίσκεται εντός της κάτω περιοχής. Το υψόμετρο που πραγματοποιεί τη μετάβαση από τη μία περιοχή στην άλλη, ονομάζεται ενεργό ύψος βροχής και αντιστοιχεί στο υψόμετρο της ισόθερμης των 0°C. Η μέση εποχιακή τιμή του υψομέτρου H της ισόθερμης των 0°C εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και προσδιορίζεται σε km από την προσεγγιστική σχέση:

$$H = \begin{cases} 4.8 & |\Lambda| \leq 30^\circ \\ 7.8 - 0.1|\Lambda| & |\Lambda| \geq 30^\circ \end{cases}$$

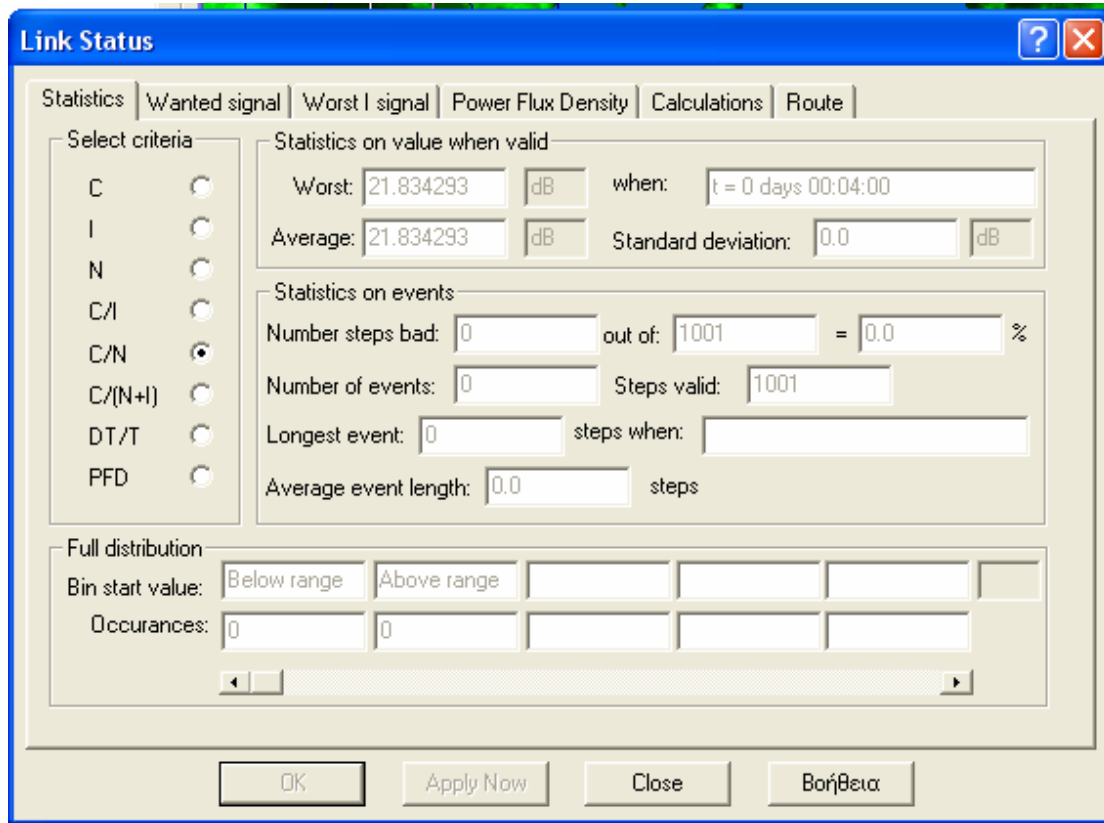
όπου Λ το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής σε μοίρες.



Σχήμα 8.6 Ενεργό ύψος βροχής

Το γεωγραφικό πλάτος της Αθήνας είναι περίπου 38° , δηλαδή πάνω από το όριο των 30° του παραπάνω τύπου. Επομένως για την Αθήνα υπολογίζουμε ότι η μέση εποχιακή τιμή του υψομέτρου H της ισόθερμης των 0°C είναι περίπου 4 km. Αντίστοιχα η Θεσσαλονίκη η οποία βρίσκεται περίπου στις 40° έχει μέση εποχιακή τιμή του υψομέτρου H της ισόθερμης των 0°C περίπου 3.8 km. Επομένως για τη ζεύξη μεταξύ Αθήνας και Θεσσαλονίκης το ελάχιστο υψόμετρο στο οποίο δεν έχουμε σημαντικές απώλειες λόγω βροχής είναι τα 4 km. Για τους παραπάνω λόγους μελετήσαμε και το σενάριο της σύνδεσης των δύο πόλεων με τις πλατφόρμες τοποθετημένες στα 4 km και πήραμε τα ακόλουθα αποτελέσματα.

8.5 Ζεύξη μεταξύ δύο πλατφορμών τοποθετημένων στα 4 km πάνω από την Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη



Σχήμα 8.7 Στατιστικά αποτελέσματα για τη ζεύξη μεταξύ Αθήνας – Θεσσαλονίκης στα 4 km - 2000 kbps

Παρατηρούμε πως ο σηματοθορυβικός λόγος παραμένει σταθερός στα 21.83 dB σε όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης, τιμή πολύ κοντά σε αυτή των 21.81 dB στο σενάριο των 21 km. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στις συνολικές απώλειες της ζεύξης υπεισέρχονται μόνο οι απώλειες ελευθέρου χώρου. Λόγω της καμπυλότητας της γης, η απόσταση των δύο ακίνητων πλατφορμών είναι ελάχιστα μεγαλύτερη στα 21 km και αυτό δικαιολογεί τον ελάχιστα μεγαλύτερο σηματοθορυβικό λόγο στα 21 km. Αναλυτικά οι απώλειες της ζεύξης φαίνονται και στον ακόλουθο πίνακα από το Visualyse:

Object: Loss detail of type Loss Detail
 At: d:\data\hps\c_n\c_n_21\c_n_4km_inter.sim:Link List.Fixed link.ForwardPath.Wanted Signal Power Calc.Loss detail
 Number of internal variables = 27

1.	Name	Loss detail	
2.	Description	Loss detail	
3.	Freespace	175.512982	dB
4.	452 freespace	Not available	dB
5.	452 gaseous absorption	Not available	dB
6.	452 fade	Not available	dB
7.	452 ducting / layer reflection	Not available	dB
8.	452 tropospheric scatter	Not available	dB
9.	526 diffraction type	Deygout	
10.	526 diffraction	0.0	dB
11.	530 rain	Not available	dB
12.	530 multipath	Not available	dB
13.	676 dry	Not available	dB
14.	676 water	Not available	dB
15.	Clouds and fog	Not available	dB
16.	Dry	Not available	dB
17.	TIA fade	Not available	dB
18.	Water	Not available	dB
19.	Egh	Not available	dB
20.	Hata	Not available	dB
21.	Lee	Not available	dB
22.	Appendix 28 freespace	Not available	dB
23.	Appendix 28 other	Not available	dB
24.	Extra	Not available	dB
25.	618 rain	Not available	dB
26.	Crane rain	Not available	dB
27.	ITU-R.P.1546	Not available	dB

Σχήμα 8.8 Απώλειες της ζεύξης μεταξύ Αθήνας – Θεσσαλονίκης στα 4 km – 2000 kbps

8.6 Συμπεράσματα για την οπτική ζεύξη μεταξύ δύο πλατφορμών

Από τα παραπάνω αποτελέσματα γίνεται αντιληπτό ότι είναι εφικτή η επικοινωνία μεταξύ δύο σημείων τα οποία εξυπηρετούνται από δύο διαφορετικές πλατφόρμες μέσω της οπτικής ζεύξης των δύο πλατφορμών. Στη συγκεκριμένη εργασία μελετήσαμε τη ζεύξη μεταξύ δύο συγκεκριμένων πόλεων, της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης και αποδείχτηκε πως υπό κάποιες συνθήκες η επικοινωνία αυτή καθίσταται δυνατή. Καθοριστικός παράγοντας είναι το ύψος στο οποίο είναι τοποθετημένες οι πλατφόρμες αφού σε στρατοσφαιρικά υψόμετρα, όπως τα 21 km που εξετάσαμε, η οπτική ζεύξη έχει πολύ καλές επιδόσεις και η αποδοτικότητα του συνολικού συστήματος εξαρτάται αποκλειστικά από τις άνω και κάτω ζεύξεις μεταξύ του επίγειου σταθμού και του HAP. Σε πολύ χαμηλά υψόμετρα, όπως τα 3 km, τα οποία εξετάστηκαν λόγω της δυνατότητας να καλυφθούν περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης, η επίδοση του συστήματος εξαρτάται τόσο από τις ζεύξεις επίγειου σταθμού – HAP όσο και από την οπτική ζεύξη μεταξύ των δύο πλατφορμών αφού αυτή «υποφέρει» από μεγάλες απώλειες λόγω βροχής εξαιτίας της διάδοσης του σήματος στην ατμόσφαιρα. Μετά από θεωρητική μελέτη και από επιβεβαίωση μέσω του Visualyse καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι για την υπό εξέταση οπτική ζεύξη Αθήνας – Θεσσαλονίκης, το τελευταίο πρόβλημα παύει να υφίσταται από το ύψος των 4 km και πάνω. Το γεγονός αυτό μας εξασφαλίζει τη δυνατότητα να έχουμε

σχετικά απλό, ευέλικτο και γρήγορο στήσιμο του συστήματος σε περίπτωση εκτάκτου ανάγκης αλλά ταυτόχρονα ζεύξεις με ικανοποιητικό λόγο σήματος προς θόρυβο και συνακόλουθα καλό περιθώριο.

Βιβλιογραφία 8^{ου} κεφαλαίου

- [1] ITU-R RECOMMENDATION F.1500, *Preferred characteristics of systems in the fixed service using high altitude platforms operating in the bands 47.2-47.5 GHz and 47.9-48.2 GHz*
- [2] *Δορυφορικές Τηλεπικοινωνίες*, Χ ΚΑΨΑΛΗΣ & Π. ΚΩΤΤΗΣ, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2003
- [3] *Διάδοση Ηλεκτρομαγνητικών Κυμάτων σε Γήινο Περιβάλλον*, Ι.Δ. ΚΑΝΕΛΛΟΠΟΥΛΟΣ, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2003