



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΜΕΛΕΤΗ ΡΑΔΙΟΚΑΛΥΨΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕ
ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ RADIO
MOBILE

ΕΝΝΙ ΝΟΥΣΗ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

Δρ. Βαρζάκας Παναγιώτης

Καθηγητής Α' βαθμίδας, Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Λαμία 2020 - 2021



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΜΕΛΕΤΗ ΡΑΔΙΟΚΑΛΥΨΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕ
ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ RADIO
MOBILE

ENNI NOYΣH

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

Δρ. Βαρζάκας Παναγιώτης

Καθηγητής Α' βαθμίδας, Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Λαμία 2020 - 2021



UNIVERSITY OF
THESSALY

SCHOOL OF SCIENCE

DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE & TELECOMMUNICATIONS

STUDY OF AREA RADIO COVERAGE USING THE
PROGRAM RADIO MOBILE

ENNI NOUSI

FINAL THESIS

ADVISOR

Dr. Varzakas Panagiotis

Professor

University of Thessaly

Department of Computer Science and Telecommunications

Lamia 2020 - 2021

«Με ατομική μου ευθύνη και γνωρίζοντας τις κυρώσεις ⁽¹⁾, που προβλέπονται από της διατάξεις της παρ. 6 του άρθρου 22 του Ν. 1599/1986, δηλώνω ότι:

1. Δεν παραθέτω κομμάτια βιβλίων ή άρθρων ή εργασιών άλλων αυτολεξεί **χωρίς να τα περικλείω σε εισαγωγικά** και χωρίς να αναφέρω το συγγραφέα, τη χρονολογία, τη σελίδα. Η αυτολεξεί παράθεση χωρίς εισαγωγικά χωρίς αναφορά στην πηγή, είναι λογοκλοπή. Πέραν της αυτολεξεί παράθεσης, λογοκλοπή θεωρείται και η παράφραση εδαφίων από έργα άλλων, συμπεριλαμβανομένων και έργων συμφοιτητών μου, καθώς και η παράθεση στοιχείων που άλλοι συνέλεξαν ή επεξεργάστηκαν, χωρίς αναφορά στην πηγή. Αναφέρω πάντοτε με πληρότητα την πηγή κάτω από τον πίνακα ή σχέδιο, όπως στα παραθέματα.
2. Δέχομαι ότι η αυτολεξεί **παράθεση χωρίς εισαγωγικά**, ακόμα κι αν συνοδεύεται από αναφορά στην πηγή σε κάποιο άλλο σημείο του κειμένου ή στο τέλος του, είναι αντιγραφή. Η αναφορά στην πηγή στο τέλος π.χ. μιας παραγράφου ή μιας σελίδας, δεν δικαιολογεί συρραφή εδαφίων έργου άλλου συγγραφέα, έστω και παραφρασμένων, και παρουσίασή τους ως δική μου εργασία.
3. Δέχομαι ότι υπάρχει επίσης περιορισμός στο μέγεθος και στη συχνότητα των παραθεμάτων που μπορώ να εντάξω στην εργασία μου εντός εισαγωγικών. Κάθε μεγάλο παράθεμα (π.χ. σε πίνακα ή πλαίσιο, κλπ), προϋποθέτει ειδικές ρυθμίσεις, και όταν δημοσιεύεται προϋποθέτει την άδεια του συγγραφέα ή του εκδότη. Το ίδιο και οι πίνακες και τα σχέδια
4. Δέχομαι όλες τις συνέπειες σε περίπτωση λογοκλοπής ή αντιγραφής.

Ημερομηνία: ...23.../...3.../2021.....

Ο – Η Δηλ.



(1) «Όποιος εν γνώσει του δηλώνει ψευδή γεγονότα ή αρνείται ή αποκρύπτει τα αληθινά με έγγραφη υπεύθυνη δήλωση του άρθρου 8 παρ. 4 Ν. 1599/1986 τιμωρείται με φυλάκιση τουλάχιστον τριών μηνών. Εάν ο υπαίτιος αυτών των πράξεων σκόπευε να προσπορίσει στον εαυτόν του ή σε άλλον περιουσιακό όφελος βλάπτοντας τρίτον ή σκόπευε να βλάψει άλλον, τιμωρείται με κάθειρξη μέχρι 10 ετών.»

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη ραδιοκάλυψης περιοχής, με τη βοήθεια του προγράμματος Radio Mobile. Αρχικά, γίνεται μία αναφορά στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας και στην εξέλιξη τους. Στη συνέχεια, περιγράφονται η διαδικασία διάδοσης των ραδιοκυμάτων, καθώς οι λόγοι οι οποίοι είναι ικανοί να προκαλέσουν απώλειες στα σήματα ή και παραμορφώσεις. Έπειτα, παρουσιάζονται αναλυτικότερα οι τρόποι με τους οποίους γίνεται η ραδιοδιάδοση, ανάλογα με το περιβάλλον στο οποίο πραγματοποιείται κάθε φορά. Περιγράφονται πιθανά εμπόδια που μπορεί να βρίσκονται στο εκάστοτε περιβάλλον, καθώς και οι επιπτώσεις που προκύπτουν από τα αυτά τα εμπόδια. Προχωρώντας, γίνεται παρουσίαση και περιγραφή διάφορων μοντέλων ραδιοδιάδοσης, όπως και η μαθηματική ανάλυση τους. Στα επόμενα κεφάλαια, μελετώνται τα γεωγραφικά συστήματα Maidenhead Locator System, Universal Transverse Mercator, Military Grid Reference System και World Geotic System, καθώς και τα πρότυπα δεδομένων ανύψωσης DTED και Shuttle Radar Topography Mission. Τέλος, γίνεται αναλυτική περιγραφή του προγράμματος Radio Mobile και πραγματοποιείται ένα παράδειγμα μελέτης ραδιοδιάδοσης στην περιοχή της Αθήνας.

ABSTRACT

The subject of this thesis is the study of area coverage using the program Radio Mobile. First, a reference is made to mobile networks and their evolution. Next, the process of radio wave propagation is described, as well as the reasons that are capable of causing signal loss or distortion. Then, the ways in which the radio wave propagation takes place are presented, depending on the environment in which it takes place each time. Possible obstacles that may be present in the environment are described, as well as the effects resulting from these obstacles. In depth, various radio propagation models are presented and described, and also their mathematical analysis. In the following chapters, the Maidenhead Locator System, Universal Transverse Mercator, Military Grid Reference System and World Geoid System, as well as DTED elevation data and Shuttle Radar Topography Mission, are studied. Finally, a detailed description of the Radio Mobile program is given and an example of a radio propagation study is carried out in the area of Athens.

Πίνακας Περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	I
ABSTRACT.....	III
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	5
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	13
ΛΙΣΤΑ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ, ΚΙΝΗΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ	16
1.1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	16
1.2: ΚΥΦΕΛΩΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ.....	16
1.3: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΡΙΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ (3G).....	17
1.4: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ (4G)	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΡΑΔΙΟΔΙΑΔΟΣΗ.....	22
2.1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	22
2.2: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΟΜΠΟΥ ΚΑΙ ΔΕΚΤΗ	22
2.3: ΟΡΙΣΜΟΣ DB	23
2.4: ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ‘Κ’	24
2.4.1: ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΣΤΟΝ ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΧΩΡΟ.....	24
2.4.2: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ ‘Κ’	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΠΩΛΕΙΑ ΣΗΜΑΤΟΣ.....	29
3.1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	29
3.2: ΑΠΩΛΕΙΑ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ ΕΛΕΥΘΕΡΟΥ ΧΩΡΟΥ	29
3.2.1: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ.....	29
3.2.2: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ ΕΛΕΥΘΕΡΟΥ ΧΩΡΟΥ.....	30
3.3: ΑΠΩΛΕΙΑ ΛΟΓΩ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ.....	31
3.3.1: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ.....	31
3.3.2: ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΠΟ ΔΙΧΜΗΡΟ ΕΜΠΟΔΙΟ	33

3.3.3: ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΠΟ ΣΦΑΙΡΙΚΟ ΕΜΠΟΔΙΟ	36
3.3.4: ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΠΟ ΔΥΟ ΔΙΧΜΗΡΑ ΕΜΠΟΔΙΑ	37
3.3.5: ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΠΟ ΠΟΛΛΑΠΛΑ ΔΙΧΜΗΡΑ ΕΜΠΟΔΙΑ.....	39
3.3.5.1: Μέθοδος Epstein – Peterson.....	39
3.3.5.2: Η Ιαπωνική μέθοδος.....	40
3.3.5.3: Μέθοδος Deygout.....	41
3.4: ΑΠΩΛΕΙΑ ΛΟΓΩ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ	42
3.5: ΑΠΩΛΕΙΑ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ	43
3.5.1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	43
3.5.2: ΙΟΝΟΣΦΑΙΡΑ	44
3.5.3: ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΑ	45
3.5.4: ΕΞΑΣΘΕΝΙΣΗ ΛΟΓΩ ΟΞΥΓΟΝΟΥ.....	46
3.5.5: ΕΞΑΣΘΕΝΙΣΗ ΛΟΓΩ ΥΔΡΑΤΜΩΝ	47
3.5.6: ΕΞΑΣΘΕΝΙΣΗ ΛΟΓΩ ΟΜΙΧΛΗΣ	48
3.5.7: ΕΞΑΣΘΕΝΙΣΗ ΛΟΓΩ ΒΡΟΧΗΣ.....	48

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΛΥΨΗΣ ΡΑΔΙΟΚΥΜΑΤΩΝ..... 51

4.1: ΡΑΔΙΟΚΥΜΑΤΑ.....	51
4.1.1: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ.....	51
4.1.2: ΖΩΝΕΣ ΡΑΔΙΟΚΥΜΑΤΩΝ	52
4.2: ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΡΑΔΙΟΚΥΜΑΤΩΝ.....	54
4.2.1: ΑΝΑΚΛΑΣΗ.....	54
4.2.1.1: Ανάκλαση από σφαιρική επιφάνεια	57
4.2.2: ΔΙΑΘΛΑΣΗ	60
4.2.3: ΣΚΕΔΑΣΗ.....	62
4.3: ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ ΜΕΤΑΞΥ ΣΥΜΒΟΛΩΝ.....	63
4.3.1: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ.....	63
4.3.2: ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	64
4.4: ΖΩΝΕΣ FRESNEL	66
4.4.1: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ.....	66
4.4.2: ΠΡΩΤΗ ΖΩΝΗ FRESNEL.....	68
4.4.3: ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΖΩΝΕΣ FRESNEL	70
4.5: ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΚΑΛΥΨΗΣ	70

4.5.1: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ FADE MARGIN.....	72
-------------------------------------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΟΝΤΕΛΑ ΡΑΔΙΟΔΙΑΔΟΣΗΣ..... 74

5.1: ΜΟΝΤΕΛΟ OKUMURA – HATA.....	75
5.2: ΜΟΝΤΕΛΟ COST 231 – HATA	77
5.3: ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΥΟ ΑΚΤΙΝΩΝ (TWO – RAY MODEL).....	78
5.4: ΜΟΝΤΕΛΟ WALFISCH ΚΑΙ BERTONI	81
5.5: ΜΟΝΤΕΛΟ COST 231 – WALFISCH – IKEGAMI	83
5.6: ΜΟΝΤΕΛΟ LEE	85
5.7: ΜΟΝΤΕΛΟ SAKAGAMI – KUBOI.....	87
5.8: ΜΟΝΤΕΛΟ IBRAHIM ΚΑΙ PARSONS.....	88
5.9: ΜΟΝΤΕΛΟ ALLSEBROOK	89
5.10: ΜΟΝΤΕΛΟ EGLI.....	90
5.11: ΜΟΝΤΕΛΟ MC GEEHAN ΚΑΙ GRIFFITH	91
5.12: ΜΟΝΤΕΛΟ ATEFI ΚΑΙ PARSONS	91
5.13: ΜΟΝΤΕΛΟ KEENAN – MOTLEY	92
5.14: ΜΟΝΤΕΛΟ ERCEG	92
5.15: ΜΟΝΤΕΛΟ LONGLEY – RICE	94

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ..... 98

6.1: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ.....	98
6.2: ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ	99
6.3: ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ.....	100
6.4: MAIDENHEAD LOCATOR SYSTEM	101
6.5: UNIVERSAL TRANSVERSE MERCATOR (UTM)	104
6.6: MILITARY GRID REFERENCE SYSTEM (MGRS).....	108
6.7: WORLD GEODETIC SYSTEM - 1984 (WGS 84).....	114

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΡΟΤΥΠΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΝΥΨΩΣΗΣ 116

7.1: ΨΗΦΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΑΝΥΨΩΣΗΣ (DIGITAL ELEVATION MODELS)	116
7.1.1: DIGITAL TERRAIN ELEVATION DATA (DTED)	117
7.2: SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION (SRTM)	119
7.2.1: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ SRTM.....	119

7.2.2: ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΑΠΟΣΤΟΛΗΣ.....	120
7.2.3: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ SRTM.....	121
7.2.4: ΥΛΙΚΟ SRTM.....	123
7.3: GOOGLE EARTH	124

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: RADIO MOBILE..... 127

8.1: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ.....	127
8.2: ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ.....	127
8.2.1: FILE	127
8.2.2: EDIT.....	137
8.2.3: VIEW	144
8.2.4: TOOLS.....	147
8.2.5: OPTIONS	164
8.2.6: WINDOW.....	173
8.2.7: HELP	174
8.3: ΜΕΛΕΤΗ ΡΑΔΙΟΚΑΛΥΨΗΣ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ RADIO MOBILE	174

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ 228

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 229

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1. 1: Παράδειγμα κυψελωτού δικτύου	17
Εικόνα 1. 2: Εξέλιξη κινητής τηλεφωνίας	19
Εικόνα 1. 3: Ιεραρχία δικτύων	20
Εικόνα 2. 1: Περιγραφή λειτουργίας πομπού	23
Εικόνα 2. 2: Περιγραφή λειτουργίας δέκτη	23
Εικόνα 2. 3: Απεικόνιση πραγματικής γης	27
Εικόνα 2. 4: Απεικόνιση αυξημένης γης	27
Εικόνα 3. 1: Παράδειγμα απώλειας ελεύθερου χώρου	30
Εικόνα 3. 2: Απεικόνιση περίθλασης (1)	32
Εικόνα 3. 3: Απεικόνιση περίθλασης (2)	33
Εικόνα 3. 4: Περίθλαση από αιχμηρό εμπόδιο	33
Εικόνα 3. 5: Υπολογισμός απώλειας	34
Εικόνα 3. 6: Περίθλαση από σφαιρικό εμπόδιο	36
Εικόνα 3. 7: Περίθλαση μεταξύ δύο σφαιρικών εμποδίων.....	38
Εικόνα 3. 8: Περίθλαση μεταξύ δύο εμποδίων, με το ένα πιο υψηλό του άλλου.....	39
Εικόνα 3. 9: Μέθοδος Epstein - Peterson	39
Εικόνα 3. 10: Ιαπωνική μέθοδος.....	41
Εικόνα 3. 11: Διάδοση μέσω πολλαπλών διαδρομών.....	43
Εικόνα 3. 12: Στρώματα ασμόσφαιρας.....	44
Εικόνα 4. 1: Απεικόνιση ραδιοκύματος.....	52
Εικόνα 4. 2: Ανάκλαση κύματος	55
Εικόνα 4. 3: Κατοπτρική ανάκλαση	55
Εικόνα 4. 4: Διάχυτη ανάκλαση	56
Εικόνα 4. 5: Ολική εσωτερική ανάκλαση.....	57
Εικόνα 4. 6: Ανάκλαση σε σφαιρική επιφάνεια	60
Εικόνα 4. 7: Διάθλαση κύματος.....	61
Εικόνα 4. 8: Φαινόμενο σκέδασης.....	62
Εικόνα 4. 9: Ανάκλαση και σκέδαση.....	63
Εικόνα 4. 10: Απεικόνιση ζώνης Fresnel.....	67
Εικόνα 4. 11: Ακτίνα πρώτης ζώνης.....	68
Εικόνα 4. 12: Περιγραφή απωλειών λόγω περίθλασης	69
Εικόνα 4. 13: Απεικόνιση Fade Margin (1).....	71

Εικόνα 4. 14: Απεικόνιση Fade Margin (2).....	71
Εικόνα 4. 15: Απεικόνιση Fade Margin (3).....	72
Εικόνα 5. 1: Υπολογισμός απώλειας με το μοντέλο Okumura-Hata.....	75
Εικόνα 5. 2: Μοντέλο δύο ακτινών	78
Εικόνα 5. 3: Μοντέλο Walfisch-Bertoni.....	82
Εικόνα 5. 4: COST 231 - Walfisch – Ikegami.....	84
Εικόνα 5. 5: Απεικόνιση των παραμέτρων	95
Εικόνα 6. 1: Γεωγραφικό σύστημα συντεταγμένων	98
Εικόνα 6. 2: Καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων	99
Εικόνα 6. 3: Γραμμές γεωγραφικού πλάτους	100
Εικόνα 6. 4: Γραμμές γεωγραφικού μήκους.....	101
Εικόνα 6. 5: Maidenhead Locator System.....	102
Εικόνα 6. 6: Αρίθμηση των 100 τετραγώνων.....	102
Εικόνα 6. 7: Διαίρεση σε υπο – τετράγωνα	103
Εικόνα 6. 8: Διαίρεση της γη σε 60 ζώνες.....	104
Εικόνα 6. 9: Ζώνες UTM.....	105
Εικόνα 6. 10: Ζώνες πλέγματος Ευρώπης	107
Εικόνα 6. 11: Ζώνες πλέγματος Αφρικής.....	108
Εικόνα 6. 12: Προσδιοριστής ζώνης πλέγματος.....	109
Εικόνα 6. 13: Τετραγωνική ταυτοποίηση	110
Εικόνα 6. 14: MGRS για Χονολουλού	112
Εικόνα 6. 15: MGRS στον Νότιο Πόλο.....	113
Εικόνα 6. 16: MGRS στον Βόρειο Πόλο.....	113
Εικόνα 6. 17: WGS 84	114
Εικόνα 7. 1: Digital Elevation Model	116
Εικόνα 7. 2: GTOPO30.....	117
Εικόνα 7. 3: Κύρια στοιχεία του SRTM.....	121
Εικόνα 7. 4: Γεωμετρία ιντερφερόμετρου SRTM	122
Εικόνα 7. 5: Περιγραφή AODA.....	124
Εικόνα 7. 6: Ψηφιακή υδρόγειος στην Google Earth	125
Εικόνα 7. 7: Δορυφορική αναπαράσταση περιοχής στην Google Earth	125
Εικόνα 7. 8: Παράδειγμα Street View στην Google Earth	126
Εικόνα 8. 1: File.....	127
Εικόνα 8. 2: New networks.....	128

Εικόνα 8. 3: Network properties - Parameters	129
Εικόνα 8. 4: Network properties – Topology	130
Εικόνα 8. 5: Network properties - Membership	130
Εικόνα 8. 6: Network properties - Systems	131
Εικόνα 8. 7: Network properties – Style	132
Εικόνα 8. 8: Unit properties	133
Εικόνα 8. 9: Enter LAT, LON or QRA.....	133
Εικόνα 8. 10: Map Properties	134
Εικόνα 8. 11: New picture	135
Εικόνα 8. 12: 3D picture	136
Εικόνα 8. 13: Edit	137
Εικόνα 8. 14: Draw grid.....	138
Εικόνα 8. 15: Draw grid - QRA.....	138
Εικόνα 8. 16: Draw grid - UTM	139
Εικόνα 8. 17: Draw rings	139
Εικόνα 8. 18: Draw rings - Unit position.....	140
Εικόνα 8. 19: Draw objects.....	140
Εικόνα 8. 20: Rotate / Stretch	141
Εικόνα 8. 21: Flood.....	141
Εικόνα 8. 22: Stratification	141
Εικόνα 8. 23: Elevation contour	142
Εικόνα 8. 24: Gray scale	142
Εικόνα 8. 25: Shadow	143
Εικόνα 8. 26: Distance scale	143
Εικόνα 8. 27: View	144
Εικόνα 8. 28: Elevation grid	144
Εικόνα 8. 29: Elevation grid (1).....	145
Εικόνα 8. 30: World map.....	145
Εικόνα 8. 31: Show networks	146
Εικόνα 8. 32: Flight	146
Εικόνα 8. 33: Tools.....	147
Εικόνα 8. 34: Radio link	147
Εικόνα 8. 35: Radio coverage	148
Εικόνα 8. 36: Single polar.....	149

Εικόνα 8. 37: Combined cartesian	150
Εικόνα 8. 38: Interference.....	151
Εικόνα 8. 39: Interference with Time delay	152
Εικόνα 8. 40: Fresnel zone coverage	153
Εικόνα 8. 41: Find best potential sites for centre unit	153
Εικόνα 8. 42: Find best potential sites for centre unit with waypoints.....	154
Εικόνα 8. 43: Route radio coverage.....	155
Εικόνα 8. 44: Visual Coverage	155
Εικόνα 8. 45: Visual Horizon	156
Εικόνα 8. 46: Fox hunt.....	157
Εικόνα 8. 47: HAAT	157
Εικόνα 8. 48: Network manager - Sort by network	158
Εικόνα 8. 49: Network manager - Sort by unit	159
Εικόνα 8. 50: Network manager - Sort by system	160
Εικόνα 8. 51: Object Editor	160
Εικόνα 8. 52: Object Editor – Lines	161
Εικόνα 8. 53: Object Editor – Labels.....	161
Εικόνα 8. 54: Antenne pattern viewer	162
Εικόνα 8. 55: Network report	162
Εικόνα 8. 56: Multicast Monitor.....	163
Εικόνα 8. 57: Metric conversion (Miles – Kilometers)	163
Εικόνα 8. 58: Metric conversion (Feet - Metres).....	163
Εικόνα 8. 59: Metric conversion (Mils - Degrees)	164
Εικόνα 8. 60: Metric conversion (dB/foot - dB/metre).....	164
Εικόνα 8. 61: Options	164
Εικόνα 8. 62: GPS.....	165
Εικόνα 8. 63: APRS	166
Εικόνα 8. 64: Internet Proxy	166
Εικόνα 8. 65: Internet Web update	167
Εικόνα 8. 66: Internet SRTM.....	167
Εικόνα 8. 67: Internet Land cover	168
Εικόνα 8. 68: Internet OpenStreetMap	168
Εικόνα 8. 69: Internet NationalMap	169
Εικόνα 8. 70: Internet Toporama	169

Εικόνα 8. 71: Elevation data	170
Εικόνα 8. 72: Land cover	171
Εικόνα 8. 73: Radio Mobile default values.....	172
Εικόνα 8. 74: IARU Region 1 standard	172
Εικόνα 8. 75: Custom.....	173
Εικόνα 8. 76: Coordinates.....	173
Εικόνα 8. 77: Window	173
Εικόνα 8. 78: Help	174
Εικόνα 8. 79: Map properties (Athens).....	175
Εικόνα 8. 80: Map of Athens	175
Εικόνα 8. 81: Unit properties (Base)	176
Εικόνα 8. 82: Coordinates of base station.....	176
Εικόνα 8. 83: Unit properties (mobile)	177
Εικόνα 8. 84: Coordinates of mobile station.....	177
Εικόνα 8. 85: Network properties - parameters (Athens)	178
Εικόνα 8. 86: Network properties - Topology (Athens)	179
Εικόνα 8. 87: Network properties - Base system.....	180
Εικόνα 8. 88: Network properties - Mobile system	180
Εικόνα 8. 89: Network properties - Membership - Network1	181
Εικόνα 8. 90: QRA – Athens	181
Εικόνα 8. 91: UTM – Athens.....	182
Εικόνα 8. 92: Draw rings - Athens	182
Εικόνα 8. 93: Flood - Copy (Athens).....	183
Εικόνα 8. 94: Flood - Add (Athens)	183
Εικόνα 8. 95: Flood - Multiply (Athens)	184
Εικόνα 8. 96: Stratification example.....	184
Εικόνα 8. 97: Stratification (Athens)	185
Εικόνα 8. 98: Elevation contour - add (Athens)	185
Εικόνα 8. 99: Elevation contour - multiply (Athens).....	186
Εικόνα 8. 100: Gray scale (Athens)	186
Εικόνα 8. 101: Shadow – example.....	187
Εικόνα 8. 102: Shadow (Athens)	187
Εικόνα 8. 103: Distance scale – example	187
Εικόνα 8. 104: Distance scale (Athens).....	188

Εικόνα 8. 105: Corner coordinates	188
Εικόνα 8. 106: Elevation grid (Athens)	189
Εικόνα 8. 107: Find peak elevation (Athens)	189
Εικόνα 8. 108: Find lowest elevation (Athens).....	190
Εικόνα 8. 109: Radio link - map (Athens)	190
Εικόνα 8. 110: Radio link - network1	191
Εικόνα 8. 111: Radio link view	191
Εικόνα 8. 112: Radio link – details.....	193
Εικόνα 8. 113: Radio link – Range	194
Εικόνα 8. 114: Radio link - distribution	195
Εικόνα 8. 115: Radio link - View – Observe	196
Εικόνα 8. 116: Observe – 5°	196
Εικόνα 8. 117: Observe – 10°	197
Εικόνα 8. 118: Observe – 20°	197
Εικόνα 8. 119: Observe – 40°	198
Εικόνα 8. 120: Observe – 80°	198
Εικόνα 8. 121: View - Observe - Stereo view	199
Εικόνα 8. 122: View - Observe – Options	199
Εικόνα 8. 123: View – Coordinates	200
Εικόνα 8. 124: Export path profile.....	200
Εικόνα 8. 125: Καμπυλότητα της γης.....	201
Εικόνα 8. 126: Swap (Rx to Tx)	201
Εικόνα 8. 127: Radio link (Rx to Tx)	202
Εικόνα 8. 128: Single polar – example 1	203
Εικόνα 8. 129: Single polar – example 1(Athens)	204
Εικόνα 8. 130: Single polar – example 2	204
Εικόνα 8. 131: Single polar – example 2 (Athens)	205
Εικόνα 8. 132: Single polar - example 3.....	205
Εικόνα 8. 133: Single polar - example 3 (Athens).....	206
Εικόνα 8. 134: Combined cartesian - example 1	206
Εικόνα 8. 135: Combined Cartesian - example 1 (Athens)	207
Εικόνα 8. 136: Combined cartesian - example 2	207
Εικόνα 8. 137: Combined Cartesian - example 2 (Athens)	208
Εικόνα 8. 138: Combined cartesian - example 3	208

Εικόνα 8. 139: Combined Cartesian - example 3 (Athens)	209
Εικόνα 8. 140: Interference - example 1	209
Εικόνα 8. 141: Interference - example 1 (Athens).....	210
Εικόνα 8. 142: Interference - swap (Athens)	210
Εικόνα 8. 143: Fresnel - example 1	211
Εικόνα 8. 144: Fresnel - example 1 (Athens)	211
Εικόνα 8. 145: Find best sites - example	212
Εικόνα 8. 146: Find best sites - example (Athens)	212
Εικόνα 8. 147: Object editor - example	213
Εικόνα 8. 148: Object editor - example (Athens)	214
Εικόνα 8. 149: Radio coverage - route – example	214
Εικόνα 8. 150: Route - example (Athens).....	215
Εικόνα 8. 151: Route radio coverage.....	215
Εικόνα 8. 152: Radio link of route.....	216
Εικόνα 8. 153: Range of route	216
Εικόνα 8. 154: Distribution of route	217
Εικόνα 8. 155: Visual coverage – example 1.....	217
Εικόνα 8. 156: Visual coverage – example 1 (Athens).....	218
Εικόνα 8. 157: Visual coverage - example 2	218
Εικόνα 8. 158: Visual coverage - example 2 (Athens)	219
Εικόνα 8. 159: Visual horizon - example 1	219
Εικόνα 8. 160: Export visual horizon – example 1	220
Εικόνα 8. 161: Visual horizon - example 2	220
Εικόνα 8. 162: Export visual horizon - example 2	221
Εικόνα 8. 163: Fox hunt – example	221
Εικόνα 8. 164: Fox hunt - example (Athens).....	222
Εικόνα 8. 165: HAAT - example 1	222
Εικόνα 8. 166: HAAT – αποτελέσματα.....	223
Εικόνα 8. 167: HAAT - αποτελέσματα (συνέχεια)	224
Εικόνα 8. 168: omni.ant.....	225
Εικόνα 8. 169: Cardio.ant	225
Εικόνα 8. 170: Corner.ant	226
Εικόνα 8. 171: dipole.ant	226
Εικόνα 8. 172: Ellipse.ant	227

Εικόνα 8. 173: yagi.ant227

Πίνακας πινάκων

Πίνακας 1. 1: Χαρακτηριστικά κινητών δικτύων	21
Πίνακας 3. 1: Υπολογισμός K και α	50
Πίνακας 4. 1: Ζώνες ραδιοκυμάτων	53
Πίνακας 5. 1: Τιμές παραμέτρων a , b , c	93
Πίνακας 5. 2: Τιμές Δh	95
Πίνακας 7. 1: DTED	118

Λίστα ακρωνυμίων

AMPS: Advanced Mobile Phone Service

TACS: Total Access Communication System

GSM: Global System for Mobile communications

ITU: International Telecommunication Union

IMT2000: International Mobile Telecommunications 2000

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System

CDMA2000: Code Division Multiple Access

GPS: Global Positioning System

LTE: Long Term Evolution

FSPL: Free Space Loss

ELF: extremely low frequency

VLF: very low frequency

LF: low frequency

MF: medium frequency

AM: amplitude modulation

HF: high frequency

VHF: very high frequency

UHF: ultra high frequency

FM: frequency modulation

SHF: super high frequency

EHF: extremely high frequency

ISI: Inter Symbol Interference

LOS: Light of Sight

NLOS: Non Light of Sight

UTM: Universal Transverse Mercator

UPS: Universal Polar Stereographic

MGRS: Military Grid Reference System

WGS 84: World Geodetic System - 1984

CTP: Conventional Terrestrial Pole

BIH: Bureau International de l' Heure

ECEF: Earth – Centered Earth – Fixed

DTM: Digital Terrain Model

DTD: Digital Terrain Data
DTED: Digital Terrain Elevation Data
SRTM: Shuttle Radar Topography Mission
DOD / NGA: National Geospatial – Intelligence Agency
DLR: German Aerospace Center - Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
ASI: Agenzia Spaziale Italiana
SAR: Synthetic Aperture Radar
OSTA – 1: Office of Space and Terrestrial Applications-1
SIR – A: Shuttle Imaging Radar A
SRL: Space Radar Laboratory
JPL: Jet Propulsion Laboratory
AMS: Antenna Mechanical System
AODA: Attitude and Orbit Determination Avionics
GIS: Geographic Information System
CIA: Central Intelligence Agency
USGS: United States Geological Survey
HAAT: Height above average terrain
APRS: Automatic Position Reporting System
EIRP: Effective Isotropic Radiated Power)
ERP: Effective Radiated Power

Κεφάλαιο 1: Ασύρματες, κινητές επικοινωνίες

1.1: Εισαγωγή

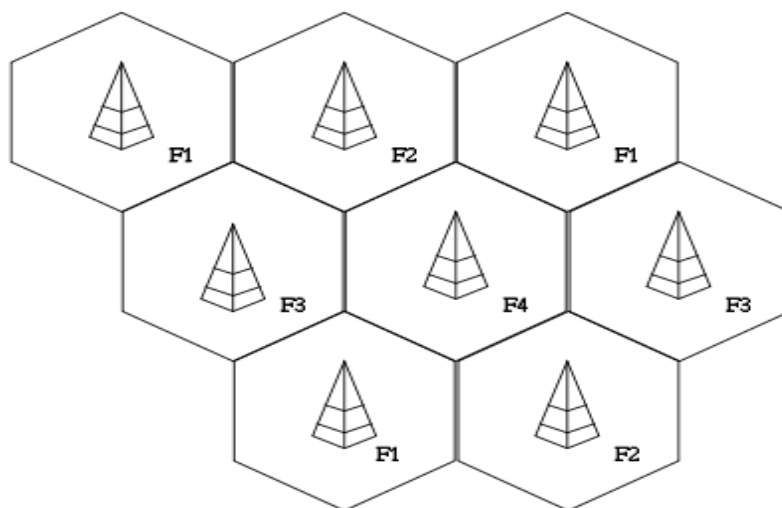
Οι ασύρματες και κινητές επικοινωνίες αποτελούν έναν από τους κλάδους της Πληροφορικής, ο οποίος εξελίσσεται γρήγορα και παράλληλα με την πρόοδο της τεχνολογίας και προκαλεί το ενδιαφέρον τόσο των ανθρώπων, όσο και των επιχειρήσεων, επηρεάζοντας έτσι και την οικονομία. Στην εποχή μας πλέον, τα συστήματα κινητών επικοινωνιών αποτελούν σημαντικό και απαραίτητο κομμάτι της καθημερινότητας, καθώς παρέχουν την δυνατότητα στους χρήστες να επικοινωνούν οποιαδήποτε στιγμή, από οποιοδήποτε σημείο βρίσκονται με άλλους χρήστες και ταυτόχρονα να έχουν πρόσβαση σε οποιαδήποτε άλλη υπηρεσία ασύρματα, όπως για παράδειγμα πρόσβαση στο διαδίκτυο. Εκείνος που εγκατάστησε και παρουσίασε το πρώτο ασύρματο σύστημα επικοινωνίας, ήταν ο Guglielmo Marconi τον Οκτώβριο του 1900 και χρησιμοποιήθηκε αρχικά στα υπερατλαντικά ταξίδια για την επικοινωνία με πλοία, [1]. Από εκείνη την στιγμή μέχρι σήμερα, οι ασύρματες επικοινωνίες και τα συστήματα κινητών επικοινωνιών αναπτύχθηκαν ραγδαία και οι τρεις πρώτες γενιές από τις οποίες πέρασαν ήταν η 1^η γενιά στην οποία η φωνή ήταν αναλογική, η 2^η γενιά στην οποία η φωνή ήταν ψηφιακή και η 3^η γενιά, η οποία παρέχει ψηφιακή φωνή και δεδομένα.

1.2: Κυψελωτά συστήματα κινητών επικοινωνιών

Το πρώτο κυψελωτό τηλεφωνικό δίκτυο ήταν αναλογικό, υλοποιήθηκε στην Αμερική στις αρχές της δεκαετίας του 1980 και ήταν το σύστημα AMPS (Advanced Mobile Phone Service), το οποίο χρησιμοποιούσε 832 κανάλια των 30kHz. Μία παραλλαγή του AMPS, αποτελούσε το TACS (Total Access Communication System), το οποίο υλοποιήθηκε στην Μεγάλη Βρετανία το 1983 και χρησιμοποιούσε 1000 κανάλια των 25kHz. Με την πάροδο του χρόνου όμως, το πλήθος των χρηστών αυξανόταν ολοένα και περισσότερο. Το γεγονός αυτό οδήγησε στην εξέλιξη των κινητών δικτύων, ώστε να υπάρχει δυνατότητα εξυπηρέτησης περισσότερων χρηστών. Πλέον στην εποχή μας, χρησιμοποιούνται ψηφιακά συστήματα και το πιο σημαντικό παράδειγμα είναι το GSM (Global System for Mobile communications), το οποίο λειτουργεί στα 900, 1800 και 1900 MHz και είναι το πιο δημοφιλές στην Ελλάδα, [6][7].

Η ιδέα για τα κυψελωτά δίκτυα προήλθε από την έννοια της κυψέλης, καθώς όλες οι γεωγραφικές περιοχές χωρίζονται σε εξαγωνικά τμήματα, τα οποία

αποκαλούνται κυψέλες και εντός κάθε κυψέλης βρίσκεται ένας σταθμός βάσης. Κάθε σταθμός βάσης αποτελείται από έναν πομπό, ένα δέκτη και μια κεραία. Σε κάθε κυψέλη, οι κεραίες βρίσκονται σε τέτοιο σημείο ώστε να έχουν ίση απόσταση μεταξύ τους και να επιτυγχάνεται η πλήρης κάλυψη της κυψέλης, [3]. Ο σκοπός των κυψελωτών συστημάτων ήταν να αντικατασταθούν πομποί με μεγάλη ισχύ και τη θέση τους να πάρουν περισσότεροι πομποί με μικρότερη ισχύ, οι οποίοι να καλύπτουν ο καθένας τους μικρό μέρος της κυψέλης και να επιτυγχάνεται με αυτόν τον τρόπο η επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων. Σε γειτονικούς σταθμούς βάσης χρησιμοποιούνται διαφορετικές συχνότητες, ενώ ίδιες συχνότητες μπορούν να χρησιμοποιούνται από σταθμούς βάσης εφόσον δεν είναι γειτονικοί και δεν μπορούν να προκληθούν παρεμβολές, [5]. Έτσι, αν κατά την διάρκεια μιας κλήσης, κάποιος χρήστης βρεθεί σε περιοχή η οποία δεν καλύπτεται από μια κυψέλη και η ισχύς του σήματος εξασθενήσει, τότε η κλήση μεταβαίνει σε άλλη περιοχή η οποία καλύπτεται από διαφορετική κυψέλη και το σήμα είναι ισχυρότερο. Σε αυτήν την περίπτωση, οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να διανύουν μεγάλες αποστάσεις χωρίς να προκαλείται καμία διακοπή στην κλήση τους, [2][4].



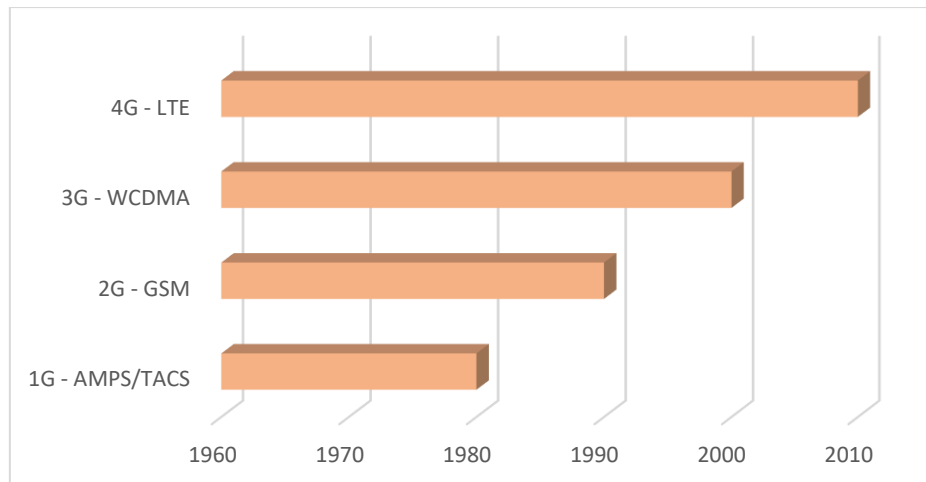
Εικόνα 1. 1: Παράδειγμα κυψελωτού δικτύου

1.3: Συστήματα τρίτης γενιάς (3G)

Η ραγδαία εξέλιξη των συστημάτων των κινητών επικοινωνιών, είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του πλήθους των χρηστών παγκοσμίως. Η ιδέα για την

ανάπτυξη συστημάτων τρίτης γενιάς, ή αλλιώς 3G, προέκυψε από την ανάγκη για υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και λόγω της περιορισμένης χωρητικότητας δεδομένων που παρείχαν τα 2G δίκτυα. Έτσι, στις αρχές του 1980, η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU – International Telecommunication Union) προχώρησε στην υλοποίηση αυτής της ιδέας και το 1998 έγιναν διαθέσιμες οι πρώτες 3G υπηρεσίες. Οι υπηρεσίες αυτές «συμμορφώνονται με τις προδιαγραφές της Διεθνούς Κινητής Τηλεπικοινωνίας (IMT2000 – International Mobile Telecommunications 2000)», οι οποίες απεικονίζουν τα χαρακτηριστικά που πρέπει να διαθέτει ένα δίκτυο, ώστε να θεωρείται 3G, [8]. Οι δύο τεχνολογίες που προέκυψαν από την ανάπτυξη των συστημάτων τρίτης γενιάς, είναι το UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), το οποίο διαθέτει κανάλια των 5MHz και το CDMA2000 (Code Division Multiple Access), το οποίο αντίστοιχα διαθέτει κανάλια των 1,25MHz. Μία από τις πρώτες χώρες που υιοθέτησε το 3G δίκτυο ήταν η Ιαπωνία, ενώ υπολογίστηκε ότι 232,8 εκατομμύρια συνδρομητές στην Κίνα μέχρι το τέλος του 2012, χρησιμοποιούσαν κινητά 3G, [9].

Ουσιαστικά, η τρίτη γενιά κινητής τηλεφωνίας προσφέρει στους χρήστες τη δυνατότητα για ασύρματη κινητή τηλεφωνία, ασύρματη σύνδεση στο διαδίκτυο και γενικότερα, για ασύρματη χρήση διάφορων υπηρεσιών. Οι χρήστες αυτών των δικτύων θα μπορούν να μετακινούνται σε οποιαδήποτε γεωγραφική περιοχή κάνοντας χρήση των παραπάνω υπηρεσιών, ακόμα και αν η περιοχή στην οποία βρίσκονται δεν υποστηρίζει την 3G κάλυψη. Κύριος στόχος της ανάπτυξης των συστημάτων τρίτης γενιάς, ήταν η ύπαρξη και η χρήση μιας τεχνολογίας η οποία θα ήταν κοινή παγκοσμίως, με κοινά χαρακτηριστικά, καθώς και η αναβάθμιση της ποιότητας επικοινωνίας και μετάδοσης της φωνής. Επιπλέον, με το 3G έγιναν παγκόσμια διαθέσιμες υπηρεσίες περιαγωγής για φωνή αλλά και για δεδομένα, και η πρόσβαση στο διαδίκτυο συμπεριλάμβανε περιήγηση σε ιστοσελίδες με βίντεο και ήχο. Γενικότερα, η τρίτη γενιά κινητής τηλεφωνίας διευκόλυνε αρκετά την καθημερινότητα των χρηστών παγκοσμίως και βρήκε εφαρμογή σε υπηρεσίες όπως η τηλεδιάσκεψη, η τηλε-ιατρική, η βιντεοκλήση, το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού γεωγραφικής θέσης (GPS – Global Positioning System) και η πλοήγηση, το ηλεκτρονικό εμπόριο και η αποστολή και λήψη μηνυμάτων με εικόνα και ήχο, [10][11].

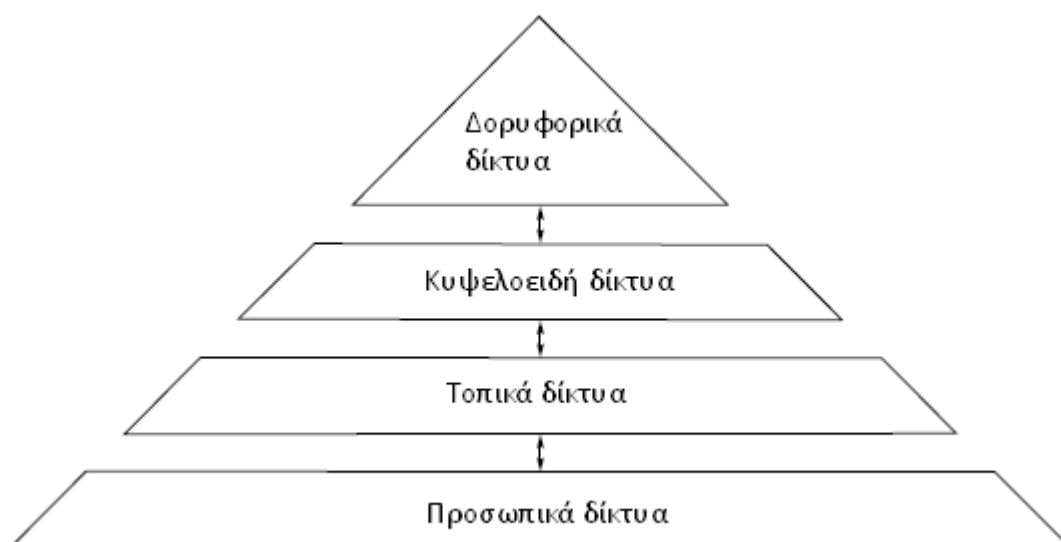


Εικόνα 1. 2: Εξέλιξη κινητής τηλεφωνίας

1.4: Συστήματα τέταρτης γενιάς (4G)

Μετά την τεχνολογία 3G, ακολούθησε η τέταρτη γενιά τεχνολογίας ευρυζωνικών κυψελοειδών δικτύων, η 4G. Το πρώτο εμπορικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας 4G, κυκλοφόρησε το 2009 στο Όσλο της Νορβηγίας και στη Στοκχόλμη της Σουηδίας. Έκτοτε, επεκτάθηκε σε όλα τα μέρη του κόσμου. Η τεχνολογία που προέκυψε από την ανάπτυξη των συστημάτων τέταρτης γενιάς, είναι η LTE (Long Term Evolution). Αποτελεί την εξέλιξη του UMTS, αν και παρουσιάζουν αρκετά κοινά και στοχεύει στη μείωση καθυστερήσεων και στη βελτίωση απόδοσης χωρητικότητας.

Τα δίκτυα της τέταρτης γενιάς αποτελούνται από τέσσερα επίπεδα. Στο πιο χαμηλό επίπεδο βρίσκονται τα προσωπικά δίκτυα, τα οποία περιλαμβάνουν έξυπνες συσκευές που επικοινωνούν ασύρματα, μεταξύ τους. Στο αμέσως επόμενο επίπεδο, βρίσκονται τα τοπικά δίκτυα. Έχουν μεγαλύτερη κάλυψη από τα προσωπικά δίκτυα και χρησιμοποιούνται για παράδειγμα, σε καφετέριες, ξενοδοχεία ή συγκροτήματα γραφείων. Στη συνέχεια, βρίσκονται τα κυψελοειδή δίκτυα, τα οποία αποτελούνται από ήδη υπάρχοντα δίκτυα δεύτερης και τρίτης γενιάς. Τέλος, στο ανώτατο επίπεδο βρίσκονται τα δορυφορικά δίκτυα. Έχουν την μεγαλύτερη κάλυψη από τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας και από τα χαμηλότερα επίπεδα. Η ιεραρχία πολλαπλών επιπέδων στα δίκτυα τέταρτης γενιάς, δίνει την δυνατότητα στους χρήστες να εκτελούν κάθετες και οριζόντιες μεταβιβάσεις. Οι κάθετες μεταβιβάσεις πραγματοποιούνται μεταξύ διαφορετικών επιπέδων δικτύου και οι οριζόντιες, γίνονται σε ένα επίπεδο. [13]



Εικόνα 1. 3: Ιεραρχία δικτύων

Βασικοί στόχοι, της τέταρτης γενιάς κινητής τηλεφωνίας, ήταν να αντιμετωπιστούν τα μειονεκτήματα και οι περιορισμοί της τρίτης γενιάς, καθώς και η ανάπτυξη στην ασύρματη τεχνολογία. Τα 3G δίκτυα παρείχαν μέγιστο εύρος ζώνης έως 2 Mbps, γεγονός που δεν υποστηρίζει όλους τους τύπους επικοινωνίας και την αυξανόμενη ανάγκη χρήσης πολυμέσων. Για τον λόγο αυτό, σχεδιάστηκαν τα 4G δίκτυα, τα οποία παρέχουν ταχύτητες από 100 Mbps έως 1 Gbps και παρέχουν έτσι υψηλότερη απόδοση. Επιπλέον, τα 4G δίκτυα δίνουν τη δυνατότητα στους χρήστες, να χρησιμοποιούν πολλές διαφορετικές πλατφόρμες και να έχουν σύνδεση στο δίκτυο. Για παράδειγμα, μπορούν να χρησιμοποιούν κινητά τηλέφωνα και φορητούς υπολογιστές, και παράλληλα να υποστηρίζονται λειτουργίες, όπως περιήγηση στο διαδίκτυο, ηλεκτρονικό εμπόριο ή φωνητικές κλήσεις μέσω του διαδικτύου (VoLTE). Βελτιώθηκαν οι ταχύτητες λήψης και οι χρόνοι απόκρισης, γεγονός που σημαίνει ότι οι συσκευές που είναι συνδεδεμένες σε 4G δίκτυα, θα λαμβάνουν ταχύτερα απαντήσεις σε αιτήματα. Το χαμηλό κόστος, είναι ένα ακόμη πλεονέκτημα που προσφέρουν τα δίκτυα τέταρτης γενιάς, καθώς δεν απαιτούν πλήρη επανεξέταση και κατασκευάζονται πάνω από τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα. Τέλος, με τα 4G δίκτυα βελτιώνονται οι υπηρεσίες GPS, βελτιώνεται η ασφάλεια δικτύου με αποτέλεσμα να γίνει αυστρότερη και θα μπορούν να ανταποκρίνονται στον συνεχόμενα αυξανόμενο αριθμό υπηρεσιών και χρηστών. [12][14][15][17]

Τεχνολογία	1G	2G	3G	4G
Χρονολογία εκκίνησης	1970	1980	1990	2000
Χρονολογία υλοποίησης	1984	1991	2002	2010
Υπηρεσίες	Αναλογική φωνή	Ψηφιακή φωνή	Ψηφιακή φωνή και δεδομένα	Υψηλότερη χωρητικότητα
Εύρος ζώνης δεδομένων	1,9 kbps	14.4 kbps	2 Mbps	200 Mbps

Πίνακας 1. 1: Χαρακτηριστικά κινητών δικτύων

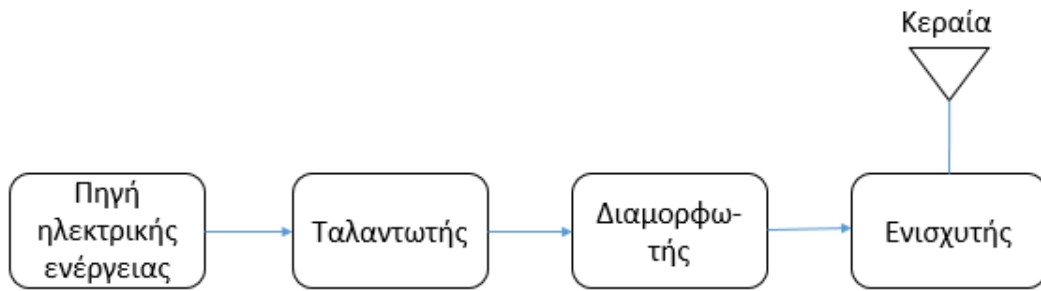
Κεφάλαιο 2: Ραδιοδιάδοση

2.1: Εισαγωγή

Η ραδιοδιάδοση μελετά τον τρόπο με τον οποίο συμπεριφέρονται τα ραδιοκύματα, όταν διαδίδονται μέσω της ατμόσφαιρας από ένα σημείο σε κάποιο άλλο, ή αλλιώς από έναν πομπό σε έναν δέκτη. Επιπλέον, μελετά τους παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν τη συμπεριφορά των ραδιοκυμάτων, οι οποίοι μπορεί να οφείλονται στο μέσο ή στον τρόπο με τον οποίο τα ραδιοκύματα ταξιδεύουν στην ατμόσφαιρα. Κάποια πιθανά εμπόδια είναι η διαμόρφωση και η ανύψωση του εδάφους, η ύπαρξη κτηρίων, βουνών ή δέντρων που μπορεί να βρίσκονται μεταξύ του πομπού και του δέκτη, καθώς επίσης σημαντικό ρόλο παίζουν και οι ατμοσφαιρικές συνθήκες. Όλοι αυτοί οι παράγοντες μπορούν να προκαλέσουν αντανάκλασεις στη διάδοση των σημάτων και επομένως το σήμα που φτάνει στο δέκτη, να είναι συνδυασμός πολλών σημάτων ή να είναι παραμορφωμένο. [18][19]

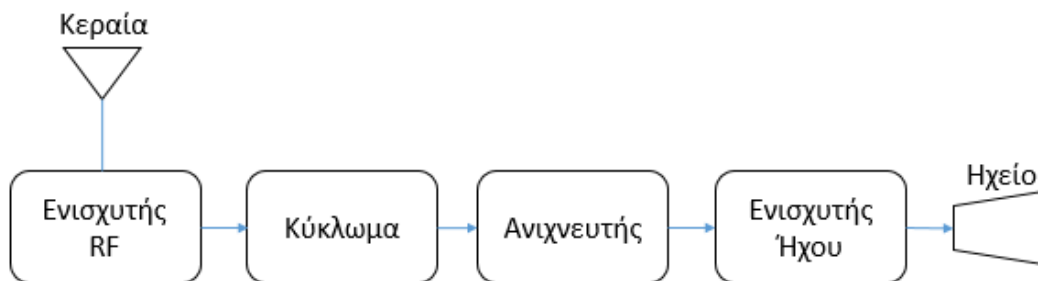
2.2: Λειτουργία πομπού και δέκτη

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η μετάδοση των πληροφοριών γίνεται μεταξύ ενός πομπού και ενός δέκτη. Ένας πομπός είναι ουσιαστικά μία συσκευή, την οποία την αποτελούν διάφορα στοιχεία που είναι απαραίτητα για τη δημιουργία και την εκπομπή ραδιοκυμάτων. Αρχικά, λαμβάνει τις πληροφορίες που θέλει να μεταδώσει, σε μορφή σήματος και στη συνέχεια μέσω ενός ταλαντωτή, δημιουργείται ένα σήμα από το οποίο παράγονται τα ραδιοκύματα και το οποίο ονομάζεται σήμα φορέα. Ύστερα, μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται διαμόρφωση, προστίθενται στο σήμα φορέα διάφορες πληροφορίες, ανάλογα με τον τύπο του πομπού. Υπάρχουν δύο τύποι πομπών, ο πομπός διαμόρφωσης πλάτους στον οποίο οι προστιθέμενες πληροφορίες πραγματοποιούν αλλαγές στο πλάτος του σήματος και ο πομπός διαμόρφωσης συχνότητας, στον οποίο οι πληροφορίες πραγματοποιούν αλλαγές στη συχνότητα του σήματος. Τέλος, γίνεται ενίσχυση αυτού του σήματος μέσω ενός ενισχυτή ώστε να αποκτήσει υψηλότερη ισχύ και αποστέλλεται από μια κεραία, στην οποία αρχικά γίνεται μετατροπή του σήματος σε ραδιοκύματα. [20][21]



Εικόνα 2. 1: Περιγραφή λειτουργίας πομπού

Αντίθετα, ένας δέκτης είναι μια συσκευή η οποία λαμβάνει μέσω της κεραίας, το σήμα φορέα μαζί με άλλα ραδιοκύματα. Μόλις ληφθεί το σήμα, πραγματοποιείται σε αυτό ενίσχυση μέσω ενός ενισχυτή RF. Ένας δέκτης διαθέτει ένα κύκλωμα, το οποίο αποκωδικοποιεί το επιθυμητό σήμα από όλα τα υπόλοιπα που λαμβάνει η κεραία από τον αέρα. Στη συνέχεια, χρησιμοποιεί έναν ανιχνευτή ο οποίος διαχωρίζει το σήμα από θορύβους και παρεμβολές και αυξάνει την ισχύ του σήματος όπως στην περίπτωση του πομπού, μέσω ενός ενισχυτή. Έτσι με αυτή τη διαδικασία, παράγεται τελικά η επιθυμητή πληροφορία. [20][21]



Εικόνα 2. 2: Περιγραφή λειτουργίας δέκτη

2.3: Ορισμός db

Το decibel (db) είναι μια λογαριθμική τιμή και μονάδα μέτρησης που χρησιμοποιείται συνήθως για μετρήσεις διάδοσης και μετρήσεις της έντασης του ήχου. Εκφράζει λογαριθμικά την αναλογία μεταξύ δύο τιμών και η αναλογία αυτή μπορεί να αφορά τάση, ένταση ή ισχύ. Ο τύπος για τη μέτρηση του db, ορίζεται ως εξής:

$$\text{dB} = 10 * \log_{10} \frac{(\text{Power level 1})}{(\text{Power level 2})} \quad (2. 1)$$

Ο αντίστοιχος τύπος για την έκφραση της αναλογίας μεταξύ δύο τιμών τάσης είναι ο εξής:

$$\text{dB} = 20 * \log_{10} \frac{(\text{Voltage level 1})}{(\text{Voltage level 2})} \quad (2. 2)$$

Ο όρος decibel προέκυψε απο το γεγονός ότι ένα decibel αντιστοιχεί στο ένα δέκατο ενός bel, το οποίο πήρε το όνομα του από τον εφευρέτη του τηλεφώνου τον Alexander Graham Bell.

Ακόμη δύο όροι που προέκυψαν από το decibel και χρησιμοποιούνται στα ραδιοφωνικά δίκτυα είναι το dBm (decibel – milliwatt) και το dBW (decibel – watt). Το dBm είναι μία μονάδα ισχύος, η οποία μετριέται σε db με αναφορά 1 milliwatt. Το 1 milliwatt ισούται με 0 dBm. Ο τύπος για τον υπολογισμό της ισχύος σε dBm είναι ο ακόλουθος:

$$P_{(\text{dBm})} = 10 * \log_{10} \frac{P_{(\text{mW})}}{1 \text{ mW}} \quad (2. 3)$$

Αντίστοιχα, το dBW είναι μία μονάδα ισχύος, η οποία μετριέται σε db με αναφορά 1 watt. Το 1 watt ισούται με 0 dBW. Ο τύπος για τον υπολογισμό της ισχύος σε dBW είναι ο ακόλουθος, [22][23][24][25] :

$$P_{(\text{dBW})} = 10 * \log_{10} \frac{P_{(\text{W})}}{1 \text{ W}} \quad (2. 4)$$

2.4: Παράγοντας ‘K’

2.4.1: Μοντέλο διάδοσης στον ελεύθερο χώρο

Το πιο απλό μοντέλο ραδιοδιάδοσης που επικράτησε, μελετά τη διάδοση των ραδιοκυμάτων στον ελεύθερο χώρο (free space). Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, τα ραδιοκύματα μεταδίδονται σε έναν υποθετικά άπειρο χώρο, χωρίς την ύπαρξη

εμποδίων και ατμόσφαιρας, και χωρίς να προκαλούνται απώλειες. Επιπλέον, λόγω της υποθετικής μη ύπαρξης εμποδίων, δεν προκαλούνται αντανakλάσεις ή κάμψεις των ραδιοκυμάτων στην επιφάνεια της γης. Σε ένα μοντέλο ελεύθερου χώρου, για να υπολογιστεί η σχέση μεταξύ της κεραίας του πομπού και της κεραίας του δέκτη, χρησιμοποιείται η εξίσωση του Friis. Σύμφωνα με αυτή, η κεραία εκπομπής είναι ιστροπική, δηλαδή εκπέμπει προς όλες τις κατευθύνσεις και χωρίς απώλειες. Στην κεραία εκπομπής, η ισχύς που παραδίδεται είναι ίση με P_t . Αν η απόσταση από την κεραία εκπομπής είναι ίση με R , τότε η πυκνότητα ισχύος P_d , περιγράφεται από την ακόλουθη σχέση:

$$P_d = \frac{P_t}{4\pi * R^2} \quad (2.5)$$

Στην περίπτωση που η κεραία εκπομπής, προς την κατεύθυνση της κεραίας λήψης είχε κέρδος, το οποίο είναι ίσο με G_t , τότε η σχέση 2.5 θα γραφτεί ως εξής:

$$P_d = \frac{P_t}{4\pi * R^2} * G_t \quad (2.6)$$

Όσον αφορά την κεραία λήψης, είναι γνωστό ότι έχει ένα άνοιγμα, το οποίο δίνεται από το A_E . Έτσι, ο υπολογισμός της ισχύος, P_R , που λαμβάνεται στην κεραία λήψης, προκύπτει η ακόλουθη σχέση:

$$P_R = \frac{P_t}{4\pi * R^2} * G_t * A_E \quad (2.7)$$

Επιπλέον, αν το κέρδος της κεραίας λήψης εκφράζεται ως G_r , είναι γνωστό ότι το A_E , μπορεί να εκφραστεί από την παρακάτω σχέση:

$$A_E = \frac{\lambda^2}{4\pi} * G_r \quad (2.8)$$

Έτσι, σύμφωνα με όλες τις παραπάνω εξισώσεις, προκύπτει η τελική εξίσωση του Friis, η οποία περιγράφεται ως εξής:

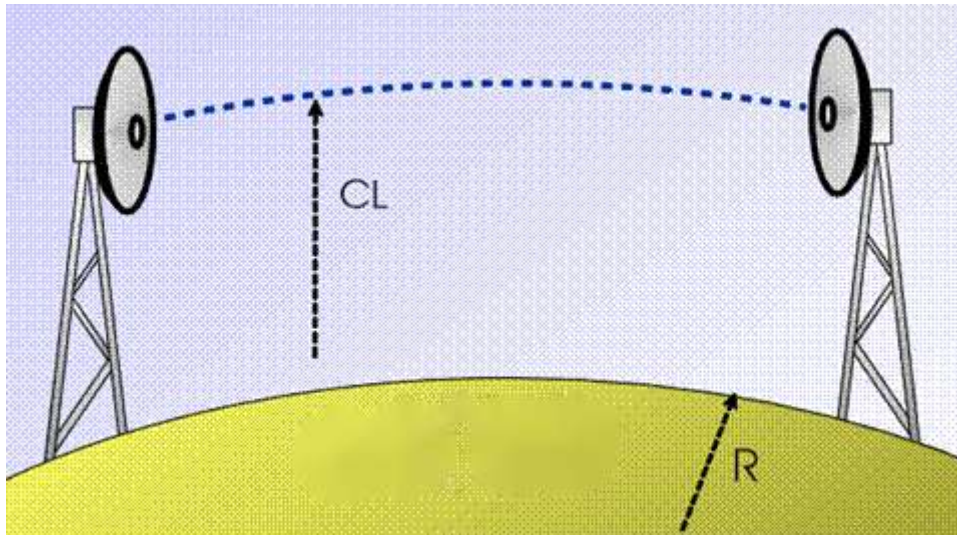
$$P_R = P_t * G_t * G_r * \frac{\lambda^2}{(4\pi R)^2} \quad (2.9)$$

Ωστόσο, καθώς το μοντέλο διάδοσης στον ελεύθερο χώρο, δεν ήταν αρκετά ρεαλιστικό, δεν μπορούσε να βοηθήσει στη σχεδίαση ραδιοφωνικών δικτύων και στην επίλυση των προβλημάτων ραδιοδιάδοσης που πιθανόν να προέκυπταν. [26][28][29][30][31]

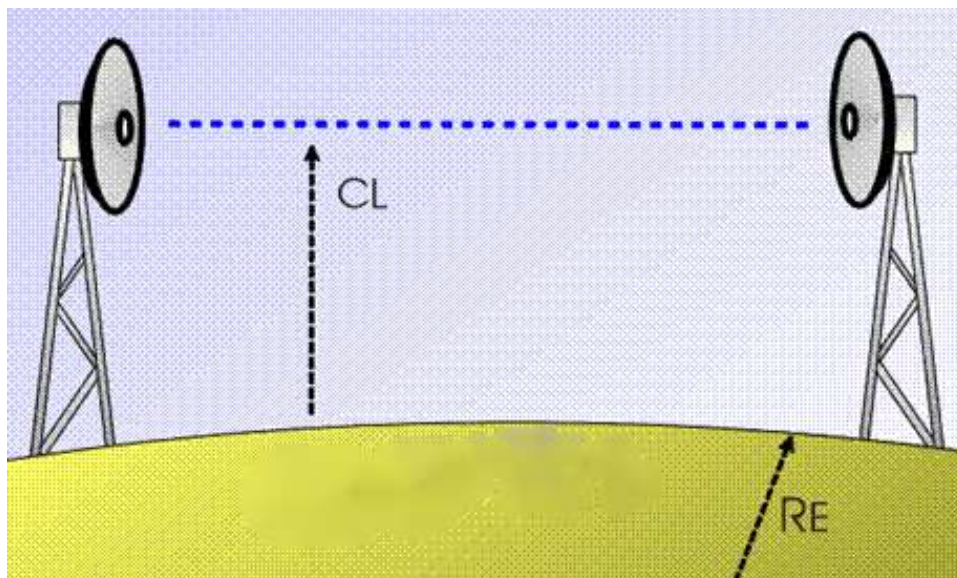
2.4.2: Υπολογισμός παράγοντα 'K'

Στα τέλη της δεκαετίας του 1930, οι Βρετανοί και η εταιρεία AT & T στα εργαστήρια Bell, ανακάλυψαν ότι τα ραδιοκύματα, είτε λόγω της καμπυλότητας της γης, είτε λόγω αλλαγών των καιρικών και ατμοσφαιρικών συνθηκών, μπορούν κατά τη διάδοση τους να κάμπτονται ή να διαθλούνται. Οι καιρικές συνθήκες που κυρίως επηρεάζουν τη διάδοση, είναι η θερμοκρασία και η υγρασία, οι οποίες όμως διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή και ανάλογα με τη χρονική περίοδο του έτους. Αντίστοιχα, επηρεάζουν τη διάδοση και οι ατμοσφαιρικές συνθήκες, καθώς στην ατμόσφαιρα υπάρχουν γενικά διάφορα σωματίδια και υδρατμοί.

Για να επιλύσουν αυτό το ζήτημα, μετά από έρευνες και μελέτες, υπέθεσαν πως αν αυξανόταν η διάμετρος της γης κατά $4/3$, τα ραδιοκύματα θα διαδίδονταν σε ευθείες γραμμές. Με αυτόν τον τρόπο, στο σχεδιασμό ενός ραδιοφωνικού δικτύου, δεν θα χρειαζόταν να υπολογιστεί η καμπυλότητα μιας διαδρομής, καθώς θα χρησιμοποιούταν η ακτίνα της υποθετικής αυξημένης γης. Η διαμόρφωση του εδάφους, τα ύψη και όλες οι αποστάσεις, θα παρέμεναν ίδια. Η ακτίνα αυτή ονομάζεται παράγοντας 'K' και ορίζεται ως τον λόγο μεταξύ της ακτίνας της αυξημένης γης και της ακτίνας της πραγματικής γης. Ωστόσο, οι τιμές του παράγοντα 'K' μπορούν να μεταβληθούν ανάλογα τις καιρικές και ατμοσφαιρικές συνθήκες ή τη γεωγραφική περιοχή. Οπότε, παρόλο που η τιμή του συνήθως είναι $4/3$, μπορεί να πάρει τιμές από 2 μέχρι και 10. Παρακάτω στις εικόνες 5 και 6 απεικονίζονται δύο παραδείγματα με την ακτίνα της πραγματικής γης και με την ακτίνα της αυξημένης γης αντίστοιχα. Το CL δείχνει την απόσταση του ραδιοκύματος που μεταδίδεται, από την επιφάνεια της γης.



Εικόνα 2. 3: Απεικόνιση πραγματικής γης



Εικόνα 2. 4: Απεικόνιση αυξημένης γης

Επιπλέον, ο παράγοντας 'K' μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με τον νόμο του Snell, ο οποίος περιγράφει το φαινόμενο της διάθλασης, δηλαδή τη σχέση μεταξύ της γωνίας πρόσπτωσης με τη γωνία διάθλασης. Ο τύπος που τον περιγράφει είναι ο ακόλουθος:

$$k = \frac{1}{1 + a * \left(\frac{dn}{dh}\right)} \quad (2. 10)$$

Με το a περιγράφεται η πραγματική ακτίνα της γης. Πολλαπλασιάζεται με το dn/dh , που περιγράφει το ρυθμό μεταβολής της διάθλασης με το ύψος. [26][27][32][33]

Κεφάλαιο 3: Απώλεια σήματος

3.1: Εισαγωγή

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τη διάδοση των ραδιοκυμάτων, κατά τη διαδρομή τους από τον πομπό στο δέκτη και να προκαλέσουν εξασθένιση των σημάτων ή και απώλειες αυτών. Η μεγάλη απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη, το ύψος της κεραίας και η πιθανότητα η κεραία του πομπού να μη βρίσκεται εντός της οπτικής γωνίας της κεραίας του δέκτη, αποτελούν κάποιους από αυτούς τους παράγοντες. Είναι αρκετά σημαντικό κατά το σχεδιασμό ενός ραδιοφωνικού συστήματος και οποιουδήποτε συστήματος επικοινωνίας, να είναι γνωστοί οι λόγοι που είναι δυνατό να προκαλέσουν τις απώλειες των σημάτων. Επίσης είναι απαραίτητος και ο προσδιορισμός των επιπέδων των απωλειών αυτών. Από όλες αυτές τις πληροφορίες, εξαρτώνται διάφορα στοιχεία του εκάστοτε ραδιοφωνικού συστήματος, όπως για παράδειγμα η ισχύς των κεραιών του πομπού και του δέκτη ή το κέρδος της κάθε κεραίας αντίστοιχα. [34]

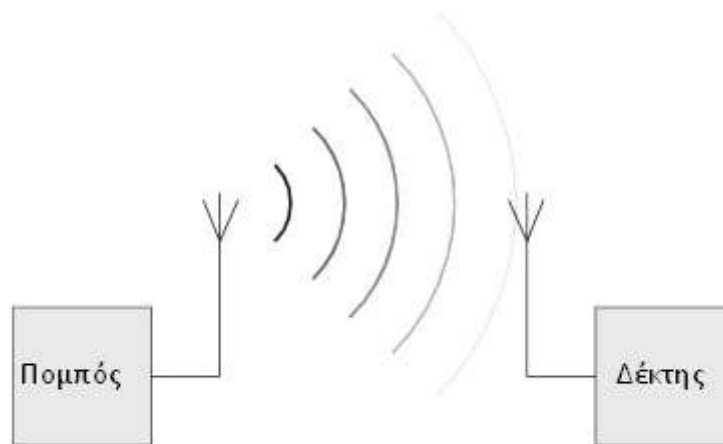
3.2: Απώλεια διαδρομής ελεύθερου χώρου

3.2.1: Περιγραφή

Η απώλεια διαδρομής ελεύθερου χώρου (FSPL – Free Space Loss) στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα, αφορά την απώλεια ισχύος που προκύπτει λόγω της απόστασης μεταξύ των κεραιών του πομπού και του δέκτη. Στο μοντέλο αυτό, θεωρείται ότι κατά τη διάδοση των ραδιοκυμάτων, δεν υπάρχουν εμπόδια στη διαδρομή τα οποία να προκαλούν αντανάκλασεις ή διαθλάσεις. Επιπλέον, δεν υπάρχει η επίδραση της γης. Αυτός είναι και ο λόγος που θεωρείται το πιο απλό σενάριο απώλειας σημάτων.

Τα ραδιοκύματα μετά την εκπομπή τους από την κεραία, ταξιδεύουν στην ατμόσφαιρα. Σταδιακά η ισχύς τους εξασθενεί, μέχρι που τελικά εξαφανίζονται ολοκληρωτικά. Για να γίνει περισσότερο αντιληπτό, το μοντέλο αυτό θα μπορούσε να παρομοιαστεί με μια λίμνη. Ο τρόπος με τον οποίο ταξιδεύουν τα κύματα, όταν πέσει μία πέτρα στη λίμνη, είναι παρόμοιος με τον τρόπο με τον οποίο διαδίδονται τα ραδιοκύματα στην ατμόσφαιρα. Όπως οι κυματισμοί, εξασθενούν όσο απομακρύνονται, το ίδιο συμβαίνει και με τα ραδιοκύματα. Στα ραδιοκύματα που ταξιδεύουν με πιο υψηλή συχνότητα, η απώλεια διαδρομής που προκαλείται, είναι μεγαλύτερη συγκριτικά με τα ραδιοκύματα που ταξιδεύουν με πιο χαμηλή συχνότητα.

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η διαδρομή των ραδιοκυμάτων από την κεραία του πομπού στην κεραία του δέκτη, καθώς και ο τρόπος εξασθένισης τους. [35]



Εικόνα 3. 1: Παράδειγμα απώλειας ελεύθερου χώρου

3.2.2: Υπολογισμός απώλειας διαδρομής ελεύθερου χώρου

Η απώλεια ελεύθερου χώρου είναι ανάλογη με το τετράγωνο της απόστασης μεταξύ των κεραιών του πομπού και του δέκτη, όπως και με το τετράγωνο της συχνότητας των ραδιοκυμάτων. Η εξάπλωση των ραδιοκυμάτων πραγματοποιείται σύμφωνα με τον αντίστροφο τετραγωνικό νόμο. Με βάση αυτόν, ισχύει το εξής:

$$S = \frac{P_t}{4 \pi * R^2} \quad (3. 1)$$

Όπου με S περιγράφεται η ισχύς ανά μονάδα περιοχής, με P_t η μεταδιδόμενη ισχύς και με R , η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη.

Η ακόλουθη εξίσωση απεικονίζει τη δυνατότητα μίας κεραίας να λαμβάνει ενέργεια από τα ραδιοκύματα που δέχεται. Έτσι, ισχύει το εξής:

$$P_r = \frac{S * \lambda^2}{4 \pi} \quad (3. 2)$$

Όπου με S περιγράφεται η μη κατευθυντική πυκνότητα ισχύος, με P_r η λαμβανόμενη ισχύς και με λ , το μεταδιδόμενο μήκος κύματος.

Συνδυάζοντας τις εξισώσεις 3.1 και 3.2, υπολογίζεται η συνολική απώλεια ελεύθερου χώρου, η οποία είναι:

$$FSPL = \frac{P_t}{P_r} = \left(\frac{4\pi * R}{\lambda} \right)^2 = \left(\frac{4\pi * R * f}{c} \right)^2 \quad (3.3)$$

Όπου σύμφωνα με τη θεμελιώδη εξίσωση κυματικής, με το c να περιγράφει τη ταχύτητα του φωτός και το f τη συχνότητα του σήματος, ισχύει ότι:

$$c = \lambda * f \quad (3.4)$$

Ωστόσο, είναι προτιμότερο η έκφραση της απώλειας διαδρομής ελεύθερου χώρου, να γίνεται σε decibel. Η εξίσωση που προκύπτει, με βάση την εξίσωση 3.3, είναι η ακόλουθη:

$$FSPL_{(dB)} = 10 * \log_{10} \left(\left(\frac{4\pi * R * f}{c} \right)^2 \right) \quad (3.5)$$

$$FSPL_{(dB)} = 20 * \log_{10} \left(\frac{4\pi * R * f}{c} \right) \quad (3.6)$$

$$FSPL_{(dB)} = 20 * \log_{10}(R) + 20 * \log_{10}(f) + 20 * \log_{10} \left(\frac{4\pi}{c} \right) \quad (3.7)$$

$$FSPL_{(dB)} = 20 * \log_{10}(R) + 20 * \log_{10}(f) + 32,44 \quad (3.8)$$

Όπου με d περιγράφεται η απόσταση από τον πομπό στο δέκτη σε km και με f περιγράφεται η συχνότητα του σήματος σε MHz. Οι λογάριθμοι υπολογίζονται με βάση το 10. [36][38][30][40][41]

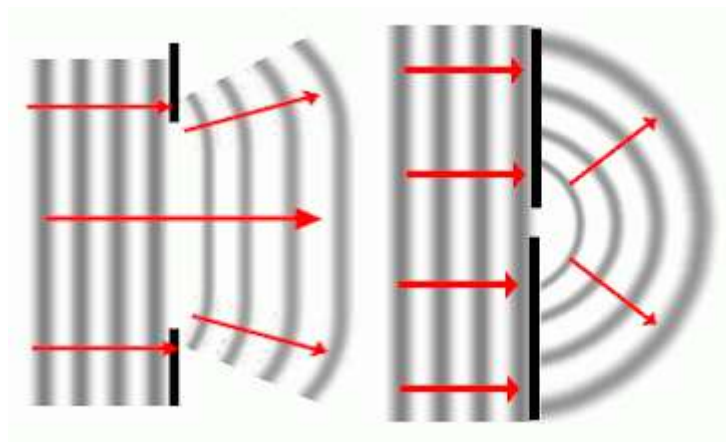
3.3: Απώλεια λόγω περίθλασης

3.3.1: Περιγραφή

Στο συγκεκριμένο μοντέλο, η προκύπτουσα απώλεια σήματος οφείλεται στην ύπαρξη εμποδίων στην επιφάνεια της γης, όπως για παράδειγμα βουνά, κτήρια ή δέντρα. Τα εμπόδια αυτά, παρεμποδίζουν τη μετάδοση των ραδιοκυμάτων. Έτσι, αν κατά τη διαδρομή που διανύουν τα ραδιοκύματα, συναντήσουν κάποια από τα παραπάνω εμπόδια, κάμπτονται πάνω σε αυτά και η ευθεία πορεία τους εκτρέπεται. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται περίθλαση και με αυτόν τον τρόπο προκύπτουν απώλειες. Οι απώλειες αυτές εξαρτώνται από το μέγεθος του εμποδίου, από τη θέση του

εμποδίου, από τη γωνία πρόσπτωσης πάνω σε αυτό και από τη συχνότητα των ραδιοκυμάτων. Γενικότερα, όσο περισσότερο παρεμβαίνει το εμπόδιο μεταξύ του πομπού και του δέκτη, τόσο μεγαλύτερες είναι και οι απώλειες που προκύπτουν. Επιπλέον, απώλειες μπορούν να προκύψουν εάν αυξηθεί η απόσταση μεταξύ των κεραίων του πομπού και του δέκτη και τα ραδιοκύματα κάμπτονται από την καμπυλότητα της γης.

Το φαινόμενο της περίθλασης και ο τρόπος με τον οποίο τα ραδιοκύματα μεταδίδονται μέσω των εμποδίων, βασίζεται την αρχή του Huygen. Σύμφωνα με αυτή, όλα τα σημεία ενός ραδιοκύματος αντιμετωπίζονται ως πηγές επιπρόσθετων κυμάτων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, όταν κάποιο μέρος του ραδιοκύματος κάμπτεται πάνω σε ένα εμπόδιο κατά τη διάδοσή του, αυτό να συμπεριφέρεται ως πηγή ακτινοβολίας. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στο κύμα, να διαδοθεί πίσω από το εμπόδιο. Τα εμπόδια που μπορεί να εμφανιστούν κατά τη διάρκεια μίας διάδοσης ενός κύματος, μπορεί να είναι ένα ή και περισσότερα. Έτσι, για να είναι πιο εύκολος ο υπολογισμός των απωλειών λόγω περίθλασης, τα εμπόδια έχουν κατηγοριοποιηθεί με βάση διάφορες γεωμετρικές παραμέτρους, όπως το ύψος, η γωνία διάθλασης και η καμπυλότητα του εμποδίου. [37][45]



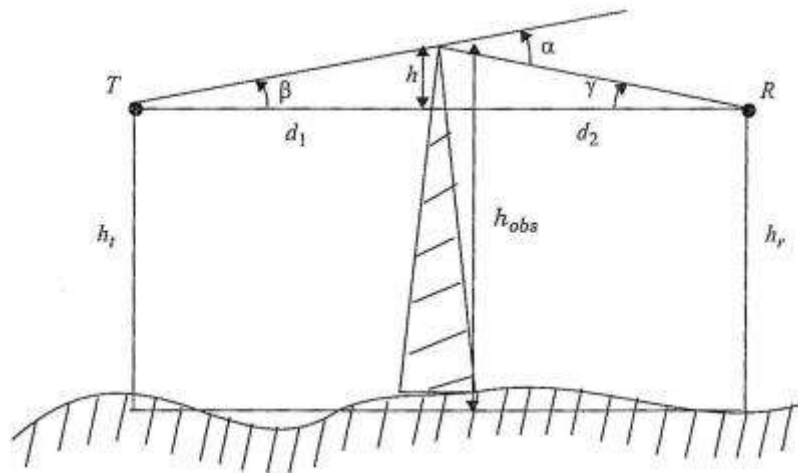
Εικόνα 3. 2: Απεικόνιση περίθλασης (1)



Εικόνα 3. 3: Απεικόνιση περίθλασης (2)

3.3.2: Περίθλαση από αιχμηρό εμπόδιο

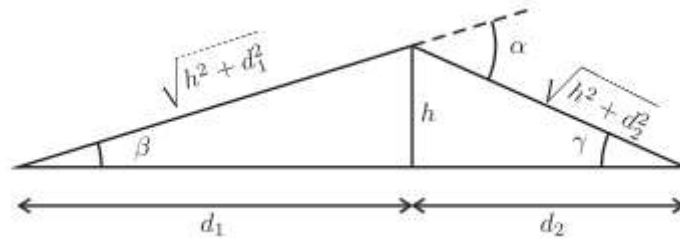
Στο μοντέλο περίθλασης λόγω αιχμηρού εμποδίου, θεωρείται πως κατά τη διαδρομή που διανύει ένα κύμα από τον πομπό στο δέκτη, βρίσκεται ένα εμπόδιο με αιχμηρή άκρη. Σε αυτή την περίπτωση, υπάρχει πιθανότητα κάποια σήματα να μη φτάσουν στο δέκτη, καθώς δεν μπορούν να διαπεράσουν το εμπόδιο. Στην εικόνα 3.4, απεικονίζεται ο τρόπος με τον οποίο ένα κύμα κάμπτεται πάνω σε ένα αιχμηρό εμπόδιο.



Εικόνα 3. 4: Περίθλαση από αιχμηρό εμπόδιο

Το κύμα ξεκινά από έναν πομπό T και καταλήγει σε έναν δέκτη R. Με h_t και h_r , απεικονίζεται το ύψος στο οποίο βρίσκονται ο πομπός και ο δέκτης αντίστοιχα, από το έδαφος. Σε απόσταση d_1 από τον πομπό, βρίσκεται το εμπόδιο και αντίστοιχα το εμπόδιο από τον δέκτη, βρίσκεται σε απόσταση d_2 . Με h περιγράφεται το ύψος από την κορυφή του εμποδίου, μέχρι τη νοητή οριζόντια γραμμή, που σχηματίζεται μεταξύ του

πομπού και του δέκτη. Το κύμα όταν εκπέμπεται από τον πομπό, καθώς και όταν φτάνει στο δέκτη, σχηματίζει γωνίες με το οριζόντιο επίπεδο λόγω της περίθλασης, τις β και γ αντίστοιχα. Τέλος, με h_{obs} περιγράφεται το ύψος του εμποδίου. Για τον υπολογισμό της απώλειας, καθώς και για λόγους απλοποίησης, απωμονώνεται το σχήμα που δημιουργείται.



Εικόνα 3. 5: Υπολογισμός απώλειας

Αρχικά, υπολογίζεται η διαφορά μεταξύ της διαδρομής που διαθλάται και της οριζόντιας διαδρομής. [43][44]

$$\Delta = \sqrt{d_1^2 + h^2} + \sqrt{d_2^2 + h^2} - (d_1 + d_2) \quad (3.9)$$

$$\Delta = d_1 \sqrt{1 + \frac{h^2}{d_1^2}} + d_2 \sqrt{1 + \frac{h^2}{d_2^2}} - d_1 - d_2 \quad (3.10)$$

$$\Delta = d_1 \left(1 + \frac{h^2}{2d_1^2} \right) + d_2 \left(1 + \frac{h^2}{2d_2^2} \right) - d_1 - d_2 \quad (3.11)$$

$$\Delta = \frac{h^2}{2} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right) \quad (3.12)$$

$$\Delta = \frac{h^2}{2} * \frac{d_1 + d_2}{d_1 * d_2} \quad (3.13)$$

Για τη γωνία α , ισχύει ότι:

$$\alpha = \beta + \gamma \quad (3.14)$$

Αν ισχύει ότι $d_1, d_2 > h$, τότε:

$$\beta = \tan^{-1} \frac{h}{d_1} = \frac{h}{d_1} \quad (3.15)$$

$$\gamma = \tan^{-1} \frac{h}{d_2} = \frac{h}{d_2} \quad (3.16)$$

$$\alpha = \beta + \gamma = \frac{h(d_1 + d_2)}{d_1 * d_2} \quad (3.17)$$

Στη συνέχεια υπολογίζεται το ηλεκτρικό μήκος, ως εξής:

$$\emptyset = \frac{2\pi}{\lambda} * \frac{h^2}{2} * \frac{d_1 + d_2}{d_1 * d_2} = \frac{\pi}{2} * h^2 * \frac{2}{\lambda} * \frac{d_1 + d_2}{d_1 * d_2} \quad (3.18)$$

Επίσης, ισχύει ότι:

$$\emptyset = \frac{\pi}{2} * v^2 \quad (3.19)$$

Με βάση την εξίσωση 3.19, εξίσωση 3.18 γίνεται ως εξής:

$$v = h * \sqrt{\frac{2 * (d_1 + d_2)}{\lambda * d_1 * d_2}} \quad (3.20)$$

Το v ονομάζεται παράγοντας Fresnel – Kirchoff. Με βάση το v , μπορεί να υπολογιστεί η απώλεια περίθλασης ($J(v)$), σε decibel. [42]

Αν $v \leq -1$, τότε:

$$J(v) = 0 \quad (3.21)$$

Αν $-1 < v \leq 0$, τότε:

$$J(v) = 20 * \log_{10}(0,5 - 0,62 * v) \quad (3.22)$$

Αν $0 < v \leq 1$, τότε:

$$J(v) = 20 * \log_{10}(0,5 * e^{-0,95 * v}) \quad (3.23)$$

Αν $1 < v \leq 2,4$, τότε:

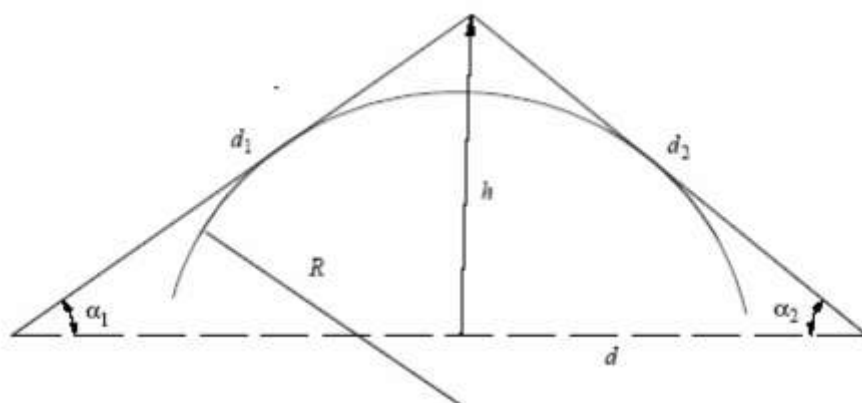
$$J(v) = 20 * \log_{10} \left(0,4 - \sqrt{0,1184 - (-0,1 * v + 0,38)^2} \right) \quad (3. 24)$$

Αν $2,4 > v$, τότε:

$$J(v) = 20 * \log_{10} \left(\frac{0,225}{v} \right) \quad (3. 25)$$

3.3.3: Περίθλαση από σφαιρικό εμπόδιο

Το μοντέλο περίθλασης λόγω σφαιρικού εμποδίου χρησιμοποιείται για να περιγράψει εμπόδια όπως είναι για παράδειγμα οι λόφοι. Στην εικόνα 3.6, απεικονίζεται ένα παράδειγμα τέτοιας περίθλασης. Με R , περιγράφεται η ακτίνα του εμποδίου, με d_1 και d_2 περιγράφονται οι αποστάσεις από τον πομπό και το δέκτη αντίστοιχα μέχρι το σημείο που κάμπτεται το κύμα. Τέλος με h , περιγράφεται το ύψος από τη νοητή οριζόντια γραμμή μεταξύ του πομπού και του δέκτη, μέχρι το νοητό σημείο που γίνεται η περίθλαση. [86]



Εικόνα 3. 6: Περίθλαση από σφαιρικό εμπόδιο

Ο τύπος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απώλειας λόγω περίθλασης σε decibel, είναι ο ακόλουθος:

$$A = J(v) + T(m, n) \quad (3.26)$$

Το v , υπολογίζεται από την εξίσωση 3.20. Αναλόγως το v , το $J(v)$ υπολογίζεται από τις εξισώσεις 3.21 – 3.25. Με το $T(m, n)$, προστίθεται η απώλεια που προκύπτει από την καμπυλότητα που προκαλεί το εμπόδιο. Ο τύπος που αντιστοιχεί στο $T(m, n)$, είναι ο παρακάτω:

$$T(m, n) = k * m^b \quad (3.27)$$

Για το k , ισχύει ότι:

$$k = 8,2 + 12 * n \quad (3.28)$$

Για το b , ισχύει ότι:

$$b = 0,73 + 0,27 * [1 - e^{-1,43 * n}] \quad (3.29)$$

Για το m , ισχύει ότι:

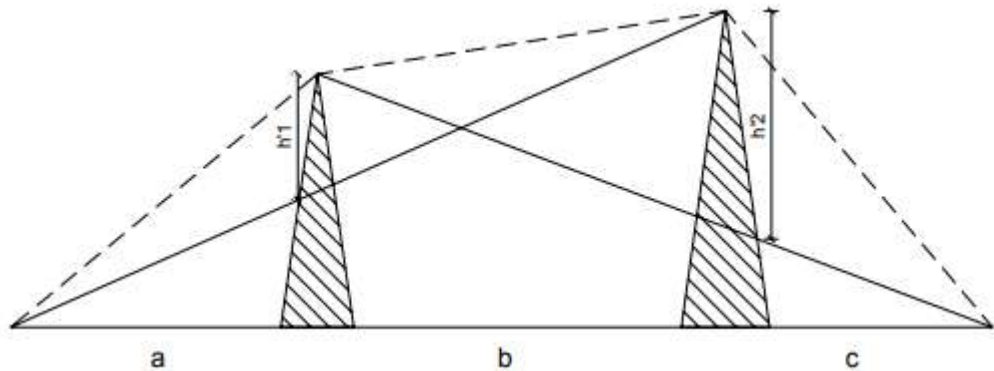
$$m = \frac{R * \left(\frac{d_1 + d_2}{d_1 * d_2}\right)}{\left(\frac{\pi * R}{\lambda}\right)^{1/3}} \quad (3.30)$$

Για το n , ισχύει ότι:

$$n = \frac{h * \left(\frac{\pi * R}{\lambda}\right)^{2/3}}{R} \quad (3.31)$$

3.3.4: Περίθλαση από δύο αιχμηρά εμπόδια

Στο συγκεκριμένο μοντέλο υπάρχουν δύο εμπόδια με αιχμηρές κορυφές, μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Το κύμα αρχικά κάμπτεται πάνω στην κορυφή του πρώτου εμποδίου και αυτό έχει ως αποτέλεσμα η κορυφή αυτή να λειτουργεί ως πηγή περίθλασης πάνω από την κορυφή του δεύτερου εμποδίου. Αρχικά, υπολογίζεται η απώλεια L_1 για τις αποστάσεις a και b και ύψος h_1 και στη συνέχεια, υπολογίζεται η απώλεια L_2 για τις αποστάσεις b και c και ύψος h_2 . Τα L_1 και L_2 , υπολογίζονται με βάση τις εξισώσεις 3.21 – 3.25, αναλόγως το v , σε decibel.



Εικόνα 3. 7: Περίθλαση μεταξύ δύο σφαιρικών εμποδίων

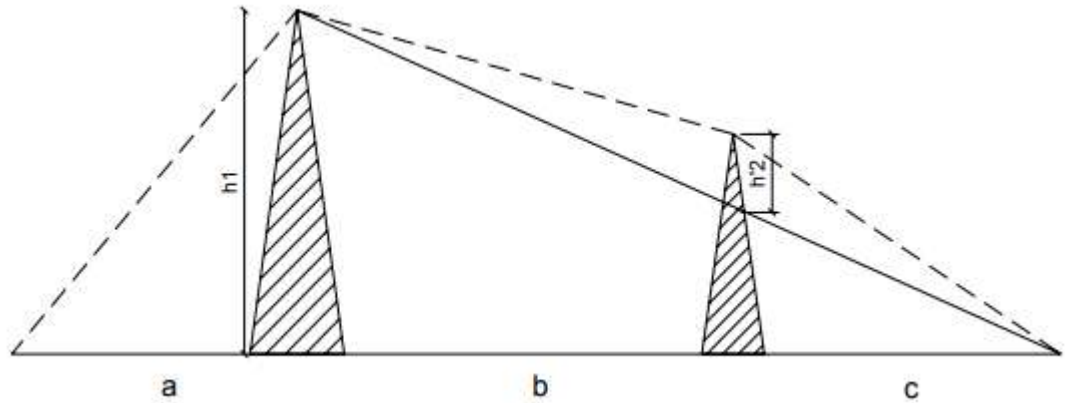
Αφού υπολογιστούν οι απώλειες L_1 και L_2 , προστίθεται σε αυτές το L_C , το οποίο δίνεται για να περιγράψει την απόσταση b , που είναι αυτή μεταξύ των δύο εμποδίων. Ο τύπος για τον υπολογισμό του L_C , δίνεται παρακάτω και ισχύει στις περιπτώσεις που τα L_1 και L_2 , είναι παραπάνω από 15dB.

$$L_C = 10 * \log_{10} \left[\frac{(a+b) * (b+c)}{b * (a + b + c)} \right] \quad (3. 32)$$

Τέλος, υπολογίζεται η συνολική απώλεια περίθλασης με τον ακόλουθο τύπο:

$$L = L_1 + L_2 + L_C \quad (3. 33)$$

Σε περίπτωση που ένα από τα δύο εμπόδια, είναι πιο υψηλό από το άλλο, τότε υπολογίζεται αρχικά η απώλεια L_1 για τις αποστάσεις a , b και c και ύψος h_1 και στη συνέχεια, υπολογίζεται η απώλεια L_2 για τις αποστάσεις b και c και ύψος h_2 . Τέλος, οι δύο αυτές απώλειες προστίθενται μεταξύ τους και δεν χρειάζεται να υπολογιστεί το L_C , όπως στην προηγούμενη περίπτωση. [91]



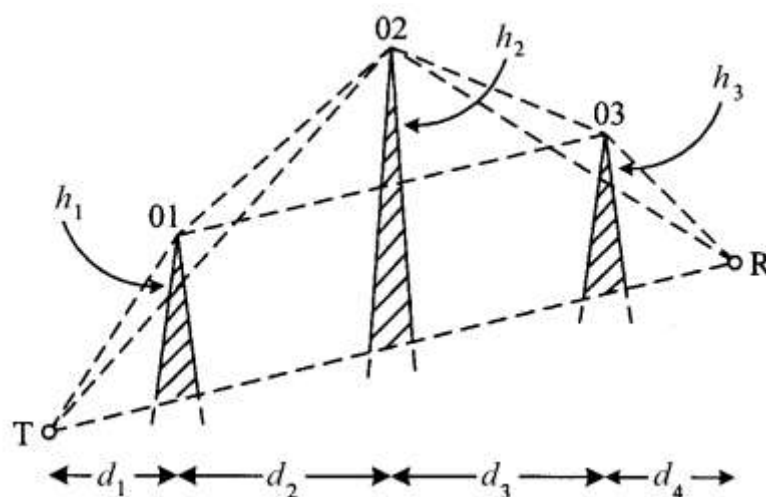
Εικόνα 3. 8: Περίθλαση μεταξύ δύο εμποδίων, με το ένα πιο υψηλό του άλλου

3.3.5: Περίθλαση από πολλαπλά αιχμηρά εμπόδια

Ο υπολογισμός απώλειας λόγω περίθλασης, στην περίπτωση που υπάρχουν πολλαπλά εμπόδια μεταξύ του πομπού και του δέκτη, δεν είναι τόσο εύκολος όσο στην περίπτωση του ενός ή των δύο εμποδίων. Ωστόσο, έχουν προταθεί κάποιες μέθοδοι που μπορούν να προσεγγίσουν μαθηματικά αυτή την απώλεια.

3.3.5.1: Μέθοδος Epstein – Peterson

Η συγκεκριμένη μέθοδος, υπολογίζει την εξασθένιση που προκαλείται από το κάθε εμπόδιο στη σειρά και στη συνέχεια τα αθροίζει, ώστε να βρεθεί η συνολική απώλεια.



Εικόνα 3. 9: Μέθοδος Epstein - Peterson

Σύμφωνα με την εικόνα 3.9, η κεραία του πομπού ενώνεται με μια νοητή ευθεία γραμμή με την κορυφή του δεύτερου εμποδίου. Με τον ίδιο τρόπο, ενώνεται η κεραία του δέκτη με την κορυφή του δεύτερου εμποδίου, καθώς και οι κορυφές του πρώτου και του τρίτου εμποδίου. Αρχικά υπολογίζεται η απώλεια λόγω του πρώτου εμποδίου, συμπεριλαμβάνοντας τις κορυφές του πρώτου και του δεύτερου εμποδίου, ως εξής:

$$L_{01} = f(d_1, d_2, h_1) \quad (3.34)$$

Με παρόμοιο τρόπο υπολογίζεται η απώλεια λόγω του δεύτερου εμποδίου.

$$L_{02} = f(d_2, d_3, h_2) \quad (3.35)$$

Στη συνέχεια, υπολογίζεται η απώλεια λόγω του τρίτου εμποδίου και τέλος το άθροισμα όλων των απωλειών.

Με τη μέθοδο αυτή, είναι πιθανό να προκύψουν σφάλματα σε περίπτωση που δύο εμπόδια βρίσκονται πολύ κοντά το ένα με το άλλο. Τα σφάλματα αυτά μπορούν να επιλυθούν με διορθώσεις, οι οποίες συμπεριλαμβάνονται στην απώλεια. [91]

$$L' = 20 * \log_{10} (\operatorname{cosec} a) \quad (3.36)$$

Όπου το a , είναι παράμετρος διαστήματος.

Για τις κορυφές του πρώτου και του δεύτερου εμποδίου ισχύει ότι:

$$\operatorname{cosec} a = \left(\frac{(d_1 + d_2) * (d_2 + d_3)}{d_2 * (d_1 + d_2 + d_3)} \right)^{1/2} \quad (3.37)$$

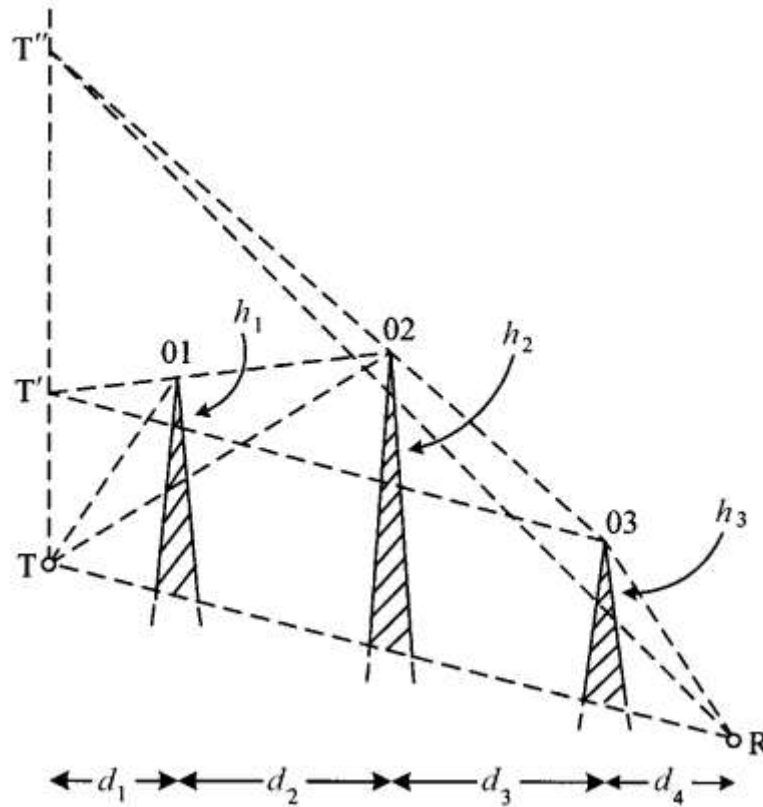
3.3.5.2: Η Ιαπωνική μέθοδος

Η μέθοδος αυτή είναι παρόμοια με την μέθοδο Epstein – Peterson. Η διαφορά είναι, ότι στην Ιαπωνική μέθοδο η απώλεια δεν υπολογίζεται με βάση τις κορυφές των εμποδίων, [91]. Με βάση την εικόνα 3.10, οι απώλειες για τα εμπόδια 1, 2 και 3 αντίστοιχα, υπολογίζονται ως εξής:

$$L_{01} = f(d_1, d_2, h_1) \quad (3.38)$$

$$L_{02} = f((d_1 + d_2), d_3, h_2) \quad (3.39)$$

$$L_{03} = f((d_1 + d_2 + d_3), d_4, h_3) \quad (3.40)$$



Εικόνα 3. 10: Ιαπωνική μέθοδος

3.3.5.3: Μέθοδος Deygout

Σύμφωνα με την εικόνα 3.11, στην μέθοδο Deygout αρχικά υπολογίζεται η παράμετρος ν για την κάθε κορυφή ξεχωριστά. Έτσι, υπολογίζονται οι διαδρομές T-01-R, T-02-R, T-03-R. Η διαδρομή που έχει την μεγαλύτερη τιμή του ν , ορίζεται ως η βασική κορυφή. Στην εικόνα 3.11, η βασική κορυφή είναι η δεύτερη. Οι απώλειες των άλλων δύο εμποδίων, μπορούν να βρεθούν με βάση τις ευθείες που ενώνουν την δεύτερη κορυφή, με τον πομπό και το δέκτη. Τέλος, με το άθροισμα όλων των αποτελεσμάτων, προκύπτει η συνολική απώλεια. Στην περίπτωση που μεταξύ του πομπού και του δέκτη υπάρχουν δύο εμπόδια, αρχικά υπολογίζεται η δευτερεύουσα βασική κορυφή. Στη συνέχεια, υπολογίζεται η πρόσθετη απώλεια για το εμπόδιο που απομένει, όπως και προηγουμένως.

Στη συγκεκριμένη μέθοδο, είναι πιθανό να προκύψουν σφάλματα αν υπάρχουν πολλαπλά εμπόδια και αν τα εμπόδια βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους. Αντίθετα, σφάλματα είναι λιγότερο πιθανό να προκύψουν, αν υπάρχει ένα βασικό εμπόδιο. Τα σφάλματα μπορούν να επιλυθούν με διορθωτικούς παράγοντες. [91]

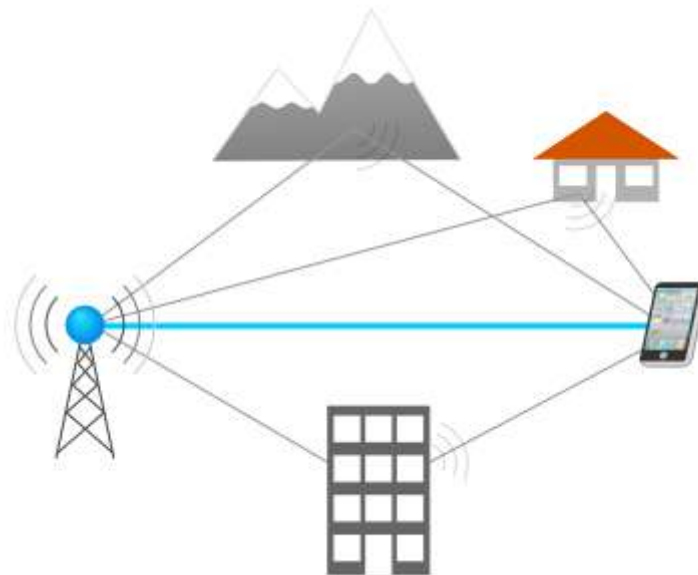
$$L' = 20 * \log_{10} \left(\operatorname{cosec}^2 a - \frac{V_2}{V_1} * \operatorname{cosec} a * \cot a \right) \quad (3.41)$$

3.4: Απώλεια λόγω πολλαπλής διάδοσης

Ένα ραδιοκύμα όταν εκπέμπεται από μία κεραία, μπορεί να διαδοθεί και να ακολουθήσει διάφορες διαδρομές. Αυτό το γεγονός συμβαίνει, καθώς τα ραδιοκύματα κατά τη διάδοση τους, συναντάνε διάφορα εμπόδια, εξαιτίας των οποίων προκαλούνται αντανακλάσεις ή διαθλάσεις. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα, διάφορα σήματα να προστεθούν μεταξύ τους ή να αφαιρεθούν το ένα από το άλλο. Πέρα από εμπόδια που μπορεί να υπάρχουν μεταξύ του πομπού και του δέκτη, σημαντικό ρόλο παίζουν και οι ίδιοι οι πομποί και οι δέκτες. Μία κατευθυντική κεραία, θα εκπέμπει προς μία μόνο κατεύθυνση, σε αντίθεση με μία μη κατευθυντική κεραία, η οποία θα εκπέμπει προς όλες τις κατευθύνσεις. Το φαινόμενο της πολλαπλής διάδοσης δημιουργεί διάφορες παρεμβολές, όπως είναι η απώλεια, η παραμόρφωση και η εξασθένηση σήματος. [46]

Σε ένα ραδιοφωνικό σύστημα, το τελικό σήμα που φτάνει στο δέκτη είναι πιθανό να είναι αποτέλεσμα αθροίσματος διάφορων σημάτων, που λαμβάνονται λόγω των πολλαπλών διαδρομών ή λόγω των αντανακλάσεων. Το γεγονός αυτό, προκαλεί μεταβολές στις φάσεις και στις συχνότητες των σημάτων. Αυτό οδηγεί σε μείωση ή μεταβολή της ισχύος του τελικού σήματος που λαμβάνει ο δέκτης και είναι και ο λόγος, για τον οποίο το τελικό σήμα μπορεί να είναι εξασθενημένο ή παραμορφωμένο, [47]. Υπάρχουν δύο τρόποι με τους οποίους η εξασθένηση σήματος, λόγω των πολλαπλών διαδρομών, μπορεί να επηρεάσει τα κανάλια σε ένα ραδιοφωνικό σύστημα. Ο πρώτος τρόπος είναι η επίπεδη εξασθένηση, η οποία σε κάθε κανάλι, επηρεάζει και προκαλεί μεταβολές σε όλες τις φάσεις και στα πλάτη των σημάτων. Ο άλλος τρόπος είναι η επιλεκτική εξασθένηση. Σε αντίθεση με την προηγούμενη περίπτωση, εδώ σε κάθε κανάλι προκαλούνται μεταβολές σε διαφορετικές συχνότητες κάθε φορά και με διαφορετικούς τρόπους. Επιπλέον στη δεύτερη περίπτωση, κατά μήκος του καναλιού διαφέρουν τα πλάτη των σημάτων, όπως και οι φάσεις τους. [48]

Υπάρχει, βεβαίως, και η περίπτωση ο δέκτης να είναι κινητός, όπως για παράδειγμα συμβαίνει με τα κινητά τηλέφωνα. Έτσι, οι διαδρομές και τα μήκη των διαδρομών αλλάζουν συνεχώς. Οι κινητοί δέκτες βρίσκονται μεταξύ περισσότερων αντικειμένων και εμποδίων, οπότε η πιθανότητα ύπαρξης αντανάκλασεων είναι αυξημένη. Το φαινόμενο αυτό περιγράφεται από το μοντέλο εξασθένησης του Rayleigh και αφορά κυρίως τα κυψελοειδή συστήματα. Καθώς οι δέκτες βρίσκονται εν κινήσει διαρκώς, προκαλούνται αλλαγές στις φάσεις των σημάτων και σε συνδυασμό με τα εμπόδια που προκαλούν αντανάκλασεις, το τελικό και συνολικό σήμα τείνει να είναι παραμορφωμένο.[49][50]



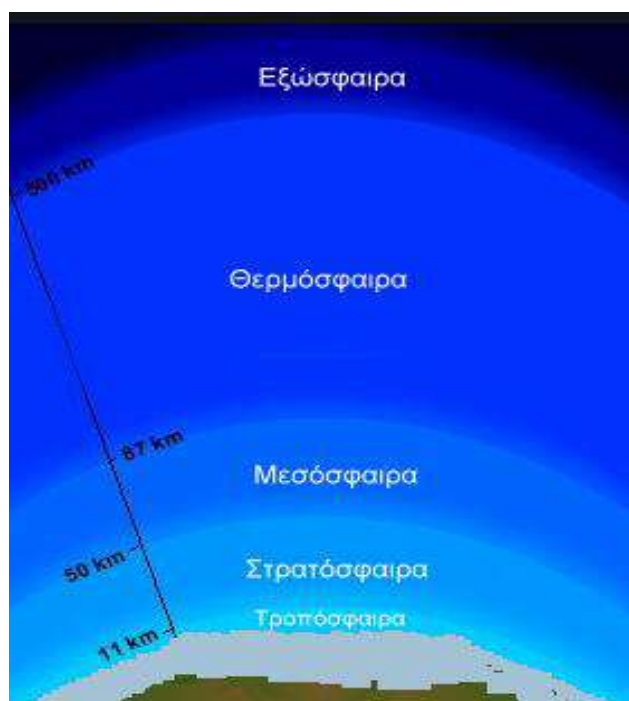
Εικόνα 3. 11: Διάδοση μέσω πολλαπλών διαδρομών

3.5: Απώλεια λόγω της ατμόσφαιρας

3.5.1: Εισαγωγή

Η ατμόσφαιρα μπορεί να επηρεάσει τη διάδοση των κυμάτων με διάφορους τρόπους. Φαινόμενα όπως είναι η βροχή, η ομίχλη και οι υδρατμοί συμβάλλουν στην εξασθένηση των ραδιοκυμάτων. Παρ' όλο που η ατμόσφαιρα αποτελείται κατά κύριο λόγο από Άζωτο (N_2) και Οξυγόνο (O_2) και σε μικρότερο ποσοστό από Διοξείδιο του Άνθρακα (CO_2), το μόνο που επηρεάζει τη διάδοση των κυμάτων, είναι το οξυγόνο. Επιπλέον, η ατμόσφαιρα σχηματίζεται από πέντε στρώματα, την εξώσφαιρα, την ιονόσφαιρα ή αλλιώς θερμόσφαιρα, την μεσόσφαιρα, την στρατόσφαιρα και την

τροπόσφαιρα. Τα δύο στρώματα, όμως, που καθορίζουν τη ραδιοδιάδοση, είναι η ιονόσφαιρα και η τροπόσφαιρα. [51][53]



Εικόνα 3. 12: Στρώματα ασμόσφαιρας

3.5.2: Ιονόσφαιρα

Η ιονόσφαιρα είναι ένα μεταβαλλόμενο και μη ομοιογενές στρώμα, καθώς ανάλογα με τη χρονική στιγμή της ημέρας, τις εποχιακές μεταβολές και το γεωγραφικό πλάτος, παρουσιάζει διάφορες παραλλαγές. Διακρίνεται από τρία υποστρώματα, τα D, E, το οποίο ονομάζεται και Kennelly – Heavisite και F. Το στρώμα F, διακρίνεται επίσης από δύο υποστρώματα, τα F₁ και F₂. Είναι χωρισμένα με βάση το ύψος, οπότε το στρώμα D εξαπλώνεται από 50 ως 90 χιλιόμετρα, το E από 80 ως 125 χιλιόμετρα, το F₁ από 100 ως 200 χιλιόμετρα και το F₂ από 200 ως 400 χιλιόμετρα,[52][53]. Τα βασικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της ιονόσφαιρας είναι η διηλεκτρική σταθερά, η οποία δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\epsilon_r = 1 - 81 * \frac{N}{f^2} \quad (3.42)$$

Όπου με το N, περιγράφεται η πυκνότητα ιονισμού και με το f, η συχνότητα του κύματος.

Επίσης, ισχύει ότι:

$$n = \sqrt{\epsilon_r} \quad (3.43)$$

Σύμφωνα με τη σχέση 3.42, η σχέση 3.43 διαμορφώνεται ως εξής:

$$n = \sqrt{1 - \frac{81 * N}{f^2}} \quad (3.44)$$

Τα ραδιοκύματα που διαδίδονται στην ιονόσφαιρα έχουν συχνότητες έως 30 με 50 MHz. Εκείνα με τις χαμηλότερες συχνότητες, δηλαδή κάτω από 30 – 50 MHz, αρχικά διαθλώνται από πυκνότερα σε αραιότερα μέσα. Στη συνέχεια, όσο ο δείκτης διάθλασης μειώνεται, τόσο τα ραδιοκύματα λυγίζουν προς τα κάτω όλο και περισσότερο και τελικά, αντανακλώνονται πίσω στη γη. Αντιθέτως, τα ραδιοκύματα που διαδίδονται μέσω των στρωμάτων D και σε μικρότερο βαθμό E, δε διαθλώνται ούτε αντανακλώνονται, αλλά υφίστανται απώλειες. Ο βαθμός ιονισμού του στρώματος D, εξαρτάται από τον ηλιακό κύκλο και κατά τη διάρκεια της νύχτας εξαφανίζεται. Το ίδιο ισχύει και για το στρώμα E. Επομένως, οι απώλειες που προκαλούνται στα ραδιοκύματα, διαφέρουν ανάλογα με το βαθμό ιονισμού.

3.5.3: Τροπόσφαιρα

Η τροπόσφαιρα είναι το στρώμα εκείνο της ατμόσφαιρας, που βρίσκεται πιο κοντά στην επιφάνεια της γης, σε απόσταση περίπου 10 χιλιομέτρων και στο οποίο παρατηρούνται μετεωρολογικά φαινόμενα. Η τροπόσφαιρα, όπως και η ιονόσφαιρα, είναι ένα μη ομοιογενές στρώμα. Η συνεχής μεταβολή της θερμοκρασίας, της πίεσης και της υγρασίας, έχουν ως αποτέλεσμα, ο δείκτης διάθλασης της τροπόσφαιρας να μην είναι σταθερός. Όσο περισσότερο αυξάνεται το ύψος, τόσο ελαττώνονται τα τρία παραπάνω ατμοσφαιρικά στοιχεία,[52][53]. Ο δείκτης διάθλασης περιγράφεται από τον εξής τύπο:

$$n = \sqrt{\frac{\epsilon_{aer}}{\epsilon_0}} = \sqrt{\epsilon_r} \quad (3.45)$$

Με ϵ_0 , περιγράφεται η διηλεκτρική σταθερά του κενού, με ϵ_{aer} η διηλεκτρική σταθερά του αέρα και με ϵ_r , η διηλεκτρική σταθερά της τροπόσφαιρας. Επειδή συνήθως, οι

μεταβολές του δείκτη n είναι μικρές, χρησιμοποιείται η διαθλαστικότητα N , η οποία περιγράφεται από την παρακάτω σχέση:

$$N = (n - 1) * 10^6 \quad (3.46)$$

Επίσης, σε ορισμένα σημεία της τροπόσφαιρας, υπάρχουν στρώματα στα οποία, ο δείκτης διάθλασης είναι διαφορετικός. Λόγω όλων αυτών των μεταβολών του δείκτη διάθλασης κατά μήκος της τροπόσφαιρας, προκαλούνται τα φαινόμενα της διάθλασης, της ανάκλασης και της σκέδασης στα κύματα. Ειδικότερα, τα κύματα με συχνότητες άνω των 50 MHz, διαθλούνται πίσω στη γη και αυτόματα τροποποιείται και ο δείκτης διάθλασης.

3.5.4: Εξασθένηση λόγω οξυγόνου

Μέσα στην ατμόσφαιρα, η ποσότητα του οξυγόνου δεν παρουσιάζει σημαντικές μεταβολές. Μία σημαντική κορύφωση φαίνεται να υπάρχει για τα κύματα που έχουν συχνότητες μεταξύ 50 με 70 GHz. Με βάση τις διεθνείς συστάσεις (ITU – R P.640), αναλύονται παρακάτω οι τύποι που περιγράφουν την εξασθένηση λόγω ύπαρξης οξυγόνου. [53][54]

Για συχνότητες κάτω από 57 GHz, ισχύει ότι:

$$\gamma_o = \left[\frac{7,27 * r_t}{f^2 + 0,351 * r_p^2 * r_t} + \frac{7,5 * r_t}{(f-57)^2 + 2,44 * r_p^2 * r_t^5} \right] * f^2 * r_p^2 * r_t^2 * 10^{-3} \quad (3.47)$$

Για συχνότητες μεταξύ των 57 και 63 GHz, ισχύει ότι:

$$\gamma_o = \left(\frac{(f - 60) * (f - 63)}{18} \right) * \gamma_o(57) - 1,6 * r_p^2 * r_t^{8,5} * (f - 57) * (f - 63) + \left(\frac{(f - 57) * (f - 60)}{18} \right) * \gamma_o(63) \quad (3.48)$$

Για συχνότητες μεταξύ των 63 και 350 GHz, ισχύει ότι:

$$\gamma_0 = \left[\frac{2 * 10^{-4} * r_t^{1.5} * (1 - 1,2 * 10^{-5} * f^{1.5}) + 0,28 * r_t^2}{4 * ((f - 63)^2 + 1,5 * r_p^2 * r_t^5) + ((f - 11875)^2 + 2,84 * r_p^2 * r_t^2)} + \frac{f^2 * r_p^2 * r_t^2 * 10^{-3}}{4 * ((f - 63)^2 + 1,5 * r_p^2 * r_t^5) + ((f - 11875)^2 + 2,84 * r_p^2 * r_t^2)} \right] \quad (3.49)$$

Όπου r_p είναι συντελεστής πίεσης και ισχύει, ότι:

$$r_p = \frac{p}{1013} \quad (3.50)$$

Και r_t είναι θερμοκρασιακός συντελεστής και ισχύει ότι:

$$r_t = \frac{288}{(273 + t)} \quad (3.51)$$

Το γ_0 περιγράφει την εξασθένηση λόγω οξυγόνου σε dB/km και το f περιγράφει τη συχνότητα σε GHz.

3.5.5: Εξασθένηση λόγω υδρατμών

Για τον υπολογισμό της εξασθένησης λόγω υδρατμών, χρειάζεται να είναι γνωστές οι καιρικές συνθήκες, η θερμοκρασία, η πίεση και η υγρασία, καθώς από περιοχή σε περιοχή διαφέρουν. Επιπλέον, όσο η συχνότητα των κυμάτων αυξάνεται άνω των 31 GHz, αυξάνεται και η εξασθένηση. Με βάση τις διεθνείς συστάσεις (ITU – R P.840), αναλύεται παρακάτω ο τύπος που περιγράφει την εξασθένηση λόγω ύπαρξης υδρατμών. [53][54]

Για συχνότητες κάτω των 350 GHz, ισχύει ότι:

$$\gamma_w = \left[\frac{3,27 * 10^{-2} * r_t + 1,67 * 10^{-3} * \frac{\rho * r_t^7}{r_p} + 7,7 * 10^{-4} * f^{0,5}}{(f - 22235)^2 + 9,81 * r_p^2 * r_t} + \frac{11,73 * r_t}{(f - 18331)^2 + 11,85 * r_p^2 * r_t} + \frac{4,01 * r_t}{(f - 325153)^2 + 1044 * r_p^2 * r_t} \right] * f^2 * \rho * r_p * r_t * 10^{-4} \quad (3.52)$$

Το γ_w περιγράφει την εξασθένιση λόγω υδρατμών σε dB/km, το f περιγράφει τη συχνότητα σε GHz και το ρ , την πυκνότητα των υδρατμών σε g/m^3 . Για τα r_i και r_p , ισχύουν οι εξισώσεις 3.51 και 3.50 αντίστοιχα.

3.5.6: Εξασθένιση λόγω ομίχλης

Για συστήματα μικρής διαθεσιμότητας και για κύματα με συχνότητες άνω των 10 GHz, παίζει σημαντικό ρόλο η εξασθένιση λόγω της ομίχλης. Με βάση τις διεθνείς συστάσεις (ITU – R P.840), αναλύεται παρακάτω ο τύπος που περιγράφει την εξασθένιση. [53][54]

$$\gamma_C = K_I * M \quad (3. 53)$$

Το γ_c περιγράφει την εξασθένιση λόγω ομίχλης σε dB/km και το M την πυκνότητα υγρού εντός της ομίχλης. Για μέση ομίχλη, η πυκνότητα είναι περίπου ίση με $0,05 g/m^3$ και για πυκνή ομίχλη, είναι περίπου ίση με $0,5 g/m^3$. Το K_I είναι ειδικός συντελεστής εξασθένισης που μετριέται σε dB/km /(g/m^3) και ο τύπος που τον περιγράφει είναι ο ακόλουθος:

$$K_I = \frac{0,819}{\epsilon'' * (1 + n^2)} \quad (3. 54)$$

Το f περιγράφει τη συχνότητα σε GHz και το ϵ , τη διηλεκτρική σταθερά του νερού. Για το n ισχύει ο παρακάτω τύπος:

$$n = \frac{(2 + \epsilon')}{\epsilon''} \quad (3. 55)$$

3.5.7: Εξασθένιση λόγω βροχής

Ο υπολογισμός της εξασθένισης των κυμάτων που προκαλείται λόγω της βροχής, εξαρτάται αρχικά από το ρυθμό της βροχόπτωσης. Όσο πιο δυνατή είναι μια βροχόπτωση, τόσο περισσότερες απώλειες προκαλούνται. Εξαρτάται επίσης, από τη συχνότητα, καθώς όσο αυξάνεται η συχνότητα, οι σταγόνες της βροχής αποτελούν εμπόδιο για τα κύματα και έτσι η πιθανότητα εξασθένισης είναι μεγαλύτερη. Σημαντικό ρόλο για τον υπολογισμό της εξασθένισης, τέλος, παίζει και το είδος της

πόλωσης. Όταν οι σταγόνες της βροχής πέφτουν προς την επιφάνεια της γης, ο όγκος τους κατανέμεται στο οριζόντιο πολωμένο πεδίο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, στην οριζόντια πόλωση να παρατηρείται μεγαλύτερη εξασθένιση, συγκριτικά με την κάθετη πόλωση. [53][54]

Με βάση τις διεθνείς συστάσεις (ITU – R P.837), αναλύεται παρακάτω ο τύπος που περιγράφει την εξασθένιση σήματος, λόγω βροχής.

$$\gamma_R = K * R^a \quad (3. 56)$$

Το γ_R περιγράφει την εξασθένιση λόγω βροχής σε dB/km. Το R υπολογίζεται σε mm/hr και περιγράφει το ύψος της βροχόπτωσης. Προκύπτει με βάση τις διεθνείς συστάσεις (ITU – R P.837) από μετεωρολογικά δεδομένα. Το K είναι συνάρτηση της συχνότητας και το a, συνάρτηση της πόλωσης. Υπολογίζονται σύμφωνα με τον πίνακα 3.1, με βάση τις διεθνείς συστάσεις (ITU – R P.525). Οι σχέσεις που χρησιμοποιούνται για να υπολογιστούν τα K και a, είναι οι ακόλουθες:

$$a = \frac{[K_H * a_H + K_V * a_V + (K_H * a_H - K_V * a_V) * \cos^2 \theta * \cos 2\tau]}{2 * \tau} \quad (3. 57)$$

$$K = \frac{[K_H + K_V + (K_H - K_V) * \cos^2 \theta * \cos 2\tau]}{2} \quad (3. 58)$$

Όπου τ , είναι η γωνία πόλωσης και θ , η γωνία ανύψωσης.

Συχνότητα	K _H	K _V	α _H	α _V
1	0.0000	0.0000	0.91	0.88
2	0.0001	0.0001	0.96	0.92
4	0.0006	0.0005	1.12	1.07
6	0.0017	0.0015	1.30	1.26
7	0.0030	0.0026	1.33	1.31
8	0.0045	0.0039	1.32	1.31
10	0.0101	0.0088	1.27	1.26
12	0.0188	0.0168	1.21	1.20
15	0.0367	0.0335	1.15	1.12
20	0.0751	0.0691	1.09	1.06
25	0.124	0.113	1.06	1.03
30	0.187	0.167	1.02	1.00
35	0.263	0.233	0.97	0.96
40	0.350	0.310	0.93	0.92
45	0.442	0.393	0.90	0.89
50	0.536	0.479	0.87	0.86
60	0.707	0.642	0.82	0.82
70	0.851	0.784	0.79	0.79
80	0.975	0.906	0.76	0.76
90	1.06	0.999	0.75	0.75
100	1.12	1.06	0.74	0.74
120	1.18	1.13	0.73	0.73
150	1.31	1.27	0.71	0.71
200	1.45	1.42	0.68	0.69
300	1.36	1.35	0.68	0.68
400	1.32	1.31	0.68	0.68

Πίνακας 3. 1: Υπολογισμός K και α

Κεφάλαιο 4: Μελέτη διάδοσης και κάλυψης ραδιοκυμάτων

4.1: Ραδιοκύματα

4.1.1: Περιγραφή

Τα ραδιοκύματα αποτελούν το κύριο στοιχείο των ραδιοφωνικών συστημάτων. Είναι ένας τύπος ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και οι συχνότητες τους κυμαίνονται περίπου από 3 kHz έως 300 GHz. Παράγονται στις κεραίες των πομπών, από την κίνηση που έχουν τα ηλεκτρικά φορτία και στη συνέχεια εκπέμπονται και λαμβάνονται από τις κεραίες των δεκτών, [55]. Χρησιμοποιούνται κυρίως στις ραδιοεπικοινωνίες, στα ραντάρ, στην ασύρματη μετάδοση πληροφοριών και στα ασύρματα δίκτυα υπολογιστών, καθώς επίσης και σε συστήματα ραδιοπλοήγησης. Αρχικά, η ιδέα για τα ραδιοκύματα, αναπτύχθηκε από τον Σκωτσέζο φυσικό James Clerk Maxwell, στη δεκαετία του 1870. Σύμφωνα με τη θεωρία του, είχε προβλέψει τη δυνατότητα του μαγνητικού και του ηλεκτρικού πεδίου, να ταξιδεύουν ως κύματα και με την ταχύτητα του φωτός, στο χώρο. Η ιδέα όμως, τελικά αποδείχθηκε το 1886 από τον Γερμανό φυσικό, Heinrich Hertz. Χρησιμοποιώντας τη θεωρία και τις υποθέσεις του Maxwell, δημιούργησε ραδιοκύματα μετά από διάφορα πειράματα στο εργαστήριο του και απέδειξε ότι είχαν τις ίδιες ιδιότητες με τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, [56].

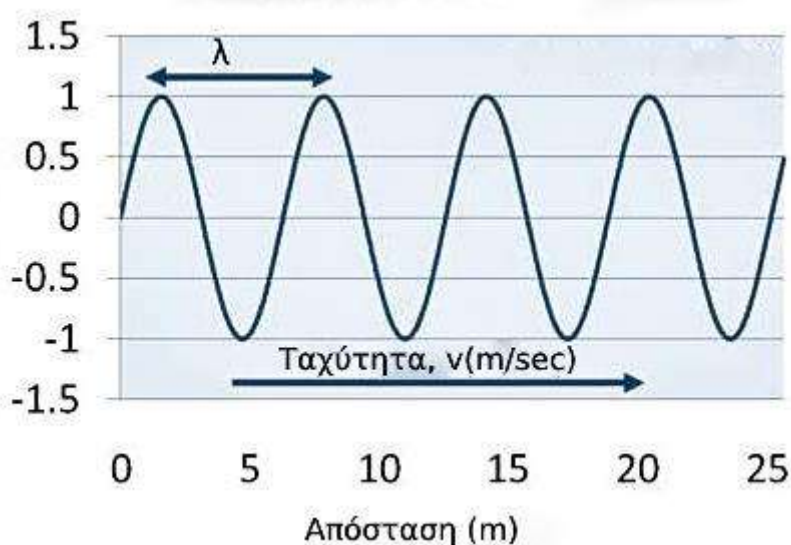
Τα ραδιοκύματα είναι ημιτονοειδή κύματα, το οποίο έχει ως επακόλουθο ότι τα ραδιοκύματα έχουν συχνότητα. Η συχνότητα μετριέται σε Hertz (Hz) και περιγράφει τον αριθμό των κύκλων, που ένα κύμα πραγματοποιεί σε ένα δευτερόλεπτο. Ο τύπος που χρησιμοποιείται για τη συχνότητα, είναι ο ακόλουθος:

$$f = \frac{1}{T} \quad (4. 1)$$

Το T είναι η περίοδος του κύματος, δηλαδή ο χρόνος στον οποίο το κύμα εκτελεί μία πλήρη ταλάντωση. Επίσης, η απόσταση στην οποία ένα κύμα πραγματοποιεί έναν κύκλο, ονομάζεται μήκος κύματος. Τα ραδιοκύματα έχουν το μεγαλύτερο μήκος κύματος από όλο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Ο τύπος που συνδυάζει τη συχνότητα με το μήκος κύματος, είναι ο παρακάτω:

$$f = \frac{v}{\lambda} \quad (4. 2)$$

Όπου v , είναι η ταχύτητα μετάδοσης του κύματος και μετριέται σε m/sec. [57]



Εικόνα 4. 1: Απεικόνιση ραδιοκύματος

4.1.2: Ζώνες ραδιοκυμάτων

Τα ραδιοκύματα διακρίνονται σε εννέα ζώνες, με βάση το εύρος συχνοτήτων τους, [58]. Ο διαχωρισμός των ζωνών δίνεται από τον παρακάτω πίνακα:

Ζώνη	Εύρος συχνοτήτων	Εύρος μήκους κύματος
Εξαιρετικά χαμηλή συχνότητα (ELF)	<3 kHz	>100 km
Πολύ χαμηλή συχνότητα (VLF)	3 kHz – 30 kHz	10 km – 100 km
Χαμηλή συχνότητα (LF)	30 kHz – 300 kHz	1 m – 10 km
Μεσαία συχνότητα (MF)	300 kHz – 3MHz	100 m – 1 km
Υψηλή συχνότητα (HF)	3 MHz – 30 MHz	10 m – 100 m
Πολύ υψηλή συχνότητα (VHF)	30 MHz – 300 MHz	1 m – 10 m
Εξαιρετικά υψηλή συχνότητα (UHF)	300 MHz – 3 GHz	10 cm – 1 m

Υπερυψηλή συχνότητα (SHF)	3 GHz – 30 GHz	1 cm – 1 cm
Εξαιρετικά υψηλή συχνότητα (EHF)	30 GHz – 300 GHz	1 mm – 1 cm

Πίνακας 4. 1: Ζώνες ραδιοκυμάτων

Οι δύο ζώνες με τις χαμηλότερες συχνότητες, οι ELF (extremely low frequency) και VLF (very low frequency), παράγονται από κεραυνούς και γενικά από διαταραχές του μαγνητικού πεδίου της γης. Λόγω της μεγάλης εμβέλειας που διαθέτουν, έχουν την ικανότητα να διεισδύουν μέσα στο νερό. Έτσι, βοηθάνε στην επικοινωνία μεταξύ υποβρυχίων ακόμα και σε μεγάλες αποστάσεις, καθώς και στην επικοινωνία με βυθισμένα υποβρύχια. Οι δύο επόμενες ζώνες με τις μεσαίες συχνότητες, οι LF (low frequency) και MF (medium frequency), διαδίδονται μέσω του εδάφους, ακολουθώντας το σχήμα της γης. Κατά τη διάδοσή τους, υπάρχει η πιθανότητα να κάμπτονται πάνω σε εμπόδια, όπως βουνά ή λόφους, ή να ανακλώνται μέσω της ιονόσφαιρας. Χρησιμοποιούνται για θαλάσσια επικοινωνία, για πλοήγηση αεροπλάνων ή πλοίων μέσω ραδιοφάρων και για ραδιοφωνική εκπομπή AM (amplitude modulation). [58][59][60]

Στη συνέχεια, στη ζώνη HF (high frequency), τα ραδιοκύματα μπορούν να διανύσουν μεγάλες αποστάσεις και να ταξιδέψουν πέρα από τον ορίζοντα, καθώς μπορούν να αντανάκλωνται από το στρώμα της ιονόσφαιρας, πίσω στη γη. Το γεγονός αυτό, το καθιστά κατάλληλο για επικοινωνία σε μεγάλες απόστασεις. Από την άλλη, στη ζώνη VHF (very high frequency), αντανάκλαση από την ιονόσφαιρα γίνεται μόνο για κύματα με χαμηλές συχνότητες. Έτσι, μπορούν να ταξιδέψουν σε μικρότερο βαθμό πέρα από τον ορίζοντα και έχουν επίσης τη δυνατότητα να διαπεράσουν και να διαδοθούν μέσα από κτήρια. Σε αντίθεση με τις ζώνες HF και VHF, στη ζώνη UHF (ultra high frequency), δεν συμβαίνει καθόλου αντανάκλαση από την ιονόσφαιρα και έτσι τα κύματα δεν μπορούν να διανύσουν μεγάλες αποστάσεις πέρα από τον ορίζοντα. Δίνει όμως, τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης συχνότητας στα κανάλια, μεταξύ γειτονικών περιοχών. Οι τρεις παραπάνω ζώνες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ραδιοφωνική εκπομπή FM (frequency modulation), για δορυφορικές και θαλάσσιες επικοινωνίες, για κινητά τηλέφωνα και για χρήση GPS, Wi – Fi και Bluetooth. [58][59][60].

Τέλος, οι δύο ζώνες με τις πιο υψηλές συχνότητες, οι SHF (super high frequency) και EHF (extremely high frequency), λόγω του μικρού μήκους κύματος, χαρακτηρίζονται και ως μικροκύματα. Συγκριτικά με τις ζώνες με χαμηλότερες συχνότητες, σε αυτές τις ζώνες τα ραδιοκύματα μπορεί να απορροφώνται από την ατμόσφαιρα, λόγω της βροχής, του οξυγόνου και των υδρατμών και να εξασθενούν. Όπως και στη ζώνη UHF, δεν συμβαίνει αντανάκλαση από την ιονόσφαιρα και εξαιτίας του μικρού μήκους κύματος, χρησιμοποιούνται για επικοινωνίες μεταξύ τοποθεσιών μικρής εμβέλειας. Χρησιμοποιούνται τέλος, στα ραντάρ και σε ασύρματα δίκτυα. [58][59][60].

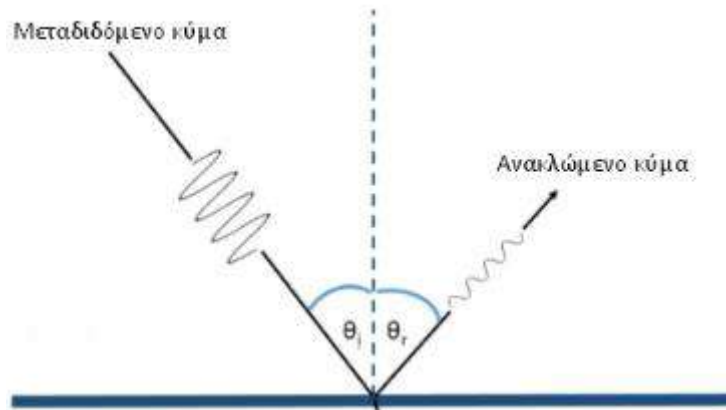
4.2: Μηχανισμοί διάδοσης ραδιοκυμάτων

Κατά το σχεδιασμό ραδιοφωνικών συστημάτων, είναι σημαντικό να γίνεται μελέτη της διάδοσης των ραδιοκυμάτων και του τρόπου που αυτά ταξιδεύουν στο χώρο. Αυτό είναι απαραίτητο, καθώς πέρα από την απευθείας διάδοση από τον πομπό στο δέκτη, τα κύματα μεταδίδονται μέσω κάποιων φαινομένων. Έτσι, ανάλογα με το περιβάλλον στο οποίο ταξιδεύουν και ανάλογα με τα εμπόδια που μπορεί να συναντάνε, τα κύματα μπορούν να διαδοθούν μέσω της ανάκλασης, της διάθλασης, της σκέδασης και της περίθλαση. Η περίθλαση αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

4.2.1: Ανάκλαση

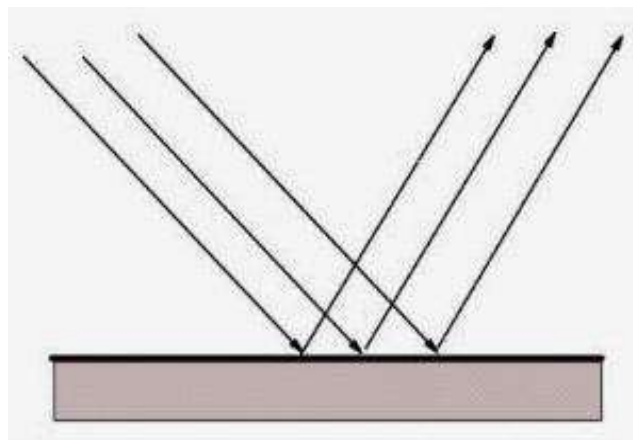
Ένα ραδιοκύμα και γενικώς οποιοδήποτε ηλεκτρομαγνητικό κύμα, καθώς ταξιδεύει, μπορεί να συναντήσει κάποια αλλαγή στο μέσο διάδοσης. Μία άλλη πιθανότητα είναι να προσπέμψει σε κάποιο εμπόδιο, του οποίου οι διαστάσεις να είναι μεγαλύτερες συγκριτικά με το μήκος κύματος. Τα εμπόδια μπορεί να είναι κτήρια, βουνά, η επιφάνεια του εδάφους ή της γης. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ανάκλαση. Όταν συμβαίνει αυτό, ένας μέρος του κύματος ή και ολόκληρο το κύμα, εξαπλώνεται στο νέο μέσο το οποίο συναντά και το υπόλοιπο αντανακλάται. Το κύμα που ανακλάται ονομάζεται ανακλώμενο κύμα και το κύμα που προσπίπτει πάνω στο μέσο, ονομάζεται μεταδιδόμενο κύμα, [62]. Επίσης, στην ανάκλαση ισχύει ότι, η γωνία ανάκλασης θ_r , είναι ίση με τη γωνία πρόσπτωσης θ_i , καθώς το μεταδιδόμενο και το ανακλώμενο κύμα έχουν την ίδια ταχύτητα.

$$\theta_i = \theta_r \quad (4.3)$$

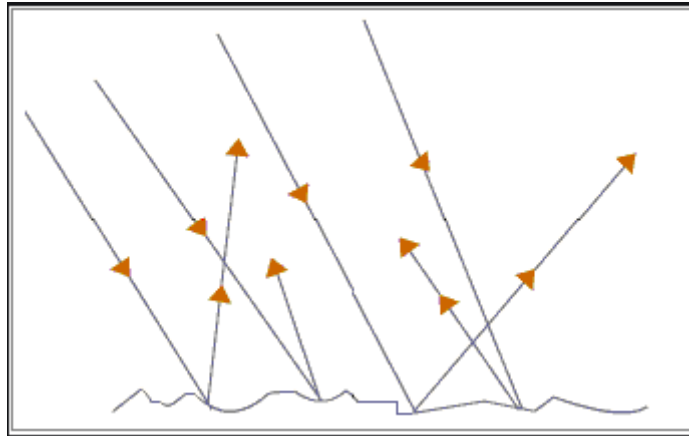


Εικόνα 4. 2: Ανάκλαση κύματος

Η ανάκλαση μπορεί να προκαλέσει αλλαγές στο μέγεθος και στη φάση του ανακλώμενου κύματος. Αυτό εξαρτάται κυρίως από το μέσο στο οποίο γίνεται η ανάκλαση. Έτσι, ανάλογα με το υλικό και τις ιδιότητες της επιφάνειας πρόσπτωσης, διακρίνεται η κατοπτρική ανάκλαση και η διάχυτη ανάκλαση. Η κατοπτρική ανάκλαση, συμβαίνει υπό συγκεκριμένη γωνία και σε επιφάνειες πιο λείες και ομαλές. Η διάχυτη ανάκλαση, συμβαίνει σε ανώμαλες και ακανόνιστες επιφάνειες και τα κύματα που ανακλώνται, διαδίδονται προς διάφορες κατευθύνσεις. Οι επιφάνειες οι οποίες παρέχουν τις καλύτερες ανακλάσεις κυμάτων, είναι οι μεταλλικές και οι λείες επιφάνειες, όπως και η επιφάνεια της γης. Αντίθετα, περιοχές της ερήμου και το ξηρό έδαφος, δεν έχουν καλές ανακλαστικές ιδιότητες. [63]



Εικόνα 4. 3: Κατοπτρική ανάκλαση



Εικόνα 4. 4: Διάχυτη ανάκλαση

Τέλος, υπάρχει και η πιθανότητα να συμβεί ολική εσωτερική ανάκλαση, σύμφωνα με την οποία όταν το μεταδιδόμενο κύμα προσπίπτει στην επιφάνεια, ανακλάται ολοκληρωτικά. Αυτό συμβαίνει όταν το κύμα ταξιδεύει από μέσο με μεγάλο δείκτη διάθλασης n_i , προς ένα μέσο με μικρό δείκτη διάθλασης n_t . Κατά την ολική ανάκλαση, η γωνία πρόσπτωσης είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη γωνία. Η κρίσιμη γωνία, δηλαδή η γωνία στην οποία το διαθλώμενο κύμα κινείται παράλληλα με την επιφάνεια, υπολογίζεται από τον νόμο του Snell, [61]. Σύμφωνα με τον νόμο αυτό, ισχύει ότι η γωνία διάθλασης θ_t , είναι μεγαλύτερη από την γωνία πρόσπτωσης θ_i και ορίζεται ότι:

$$n_i * \sin \theta_i = n_t * \sin \theta_t \quad (4.4)$$

$$\sin \theta_i = \frac{n_t}{n_i} * \sin \theta_t \quad (4.5)$$

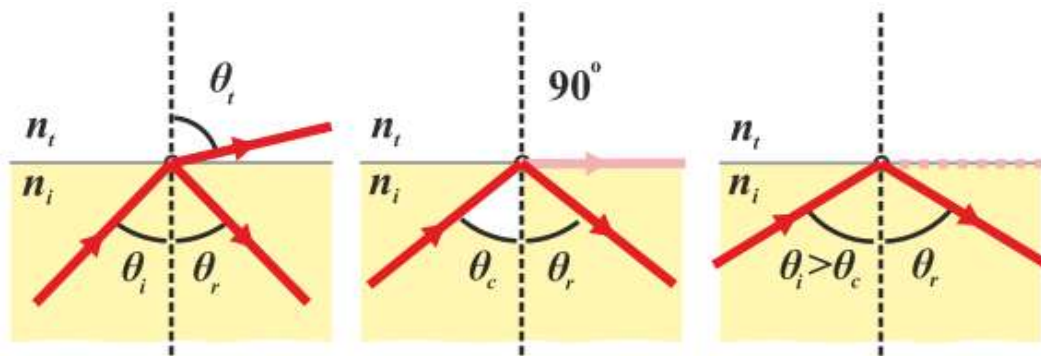
Ισχύει ότι:

$$\theta_i = 90^\circ \quad (4.6)$$

$$\sin \theta_i = 1 \quad (4.7)$$

Από 4.6 και 4.7, η κρίσιμη γωνία υπολογίζεται ως εξής:

$$\sin \theta_{\text{crit}} = \frac{n_i}{n_t} \quad (4.8)$$



Εικόνα 4. 5: Ολική εσωτερική ανάκλαση

4.2.1.1: Ανάκλαση από σφαιρική επιφάνεια

Με τον ίδιο τρόπο, ανάκλαση μπορεί να συμβεί και σε κάποια σφαιρική επιφάνεια, όπως είναι για παράδειγμα η επιφάνεια της γης. Η ανάκλαση αυτή, απεικονίζεται στη εικόνα 4.6. Ένα κύμα εκπέμπεται από την κεραία του πομπού T, ανακλάται πάνω στην σφαιρική επιφάνεια και στην συνέχεια λαμβάνεται από την κεραία του δέκτη, R. Τα ύψη των κεραίων του πομπού και του δέκτη από την επιφάνεια της γης, περιγράφονται ως h_T και h_R αντίστοιχα. Με h_T' και h_R' , περιγράφονται τα ύψη των κεραίων του πομπού και του δέκτη, από την νοητή ευθεία στην οποία γίνεται η ανάκλαση, [86]. Έτσι, μαθηματικά προσεγγίζεται ως εξής:

$$d_1^2 = [r_e + (h_T - h_T')]^2 - r_e^2 \quad (4.9)$$

$$d_1^2 = (h_T - h_T')^2 + 2 * r_e * (h_T - h_T') \quad (4.10)$$

$$d_1^2 \approx 2 * r_e * (h_T - h_T') \quad (4.11)$$

Ομοίως, ισχύει ότι:

$$d_2^2 \approx 2 * r_e * (h_R - h_R') \quad (4.12)$$

Οι εξισώσεις 4.11 και 4.12, λύνονται ως προς h_T' και h_R' αντίστοιχα, και προκύπτει ότι:

$$h_T' = h_T - \frac{d_1^2}{2 * r_e} \quad (4.13)$$

$$h_R' = h_R - \frac{d_2^2}{2 * r_e} \quad (4.14)$$

Με ψ , περιγράφονται οι γωνίες που σχηματίζονται από το μεταδιδόμενο και το ανακλώμενο κύμα, σε σχέση με την νοητή ευθεία γραμμή και ισχύει ότι:

$$\psi = \frac{h_T'}{d_1} = \frac{h_R'}{d_2} \quad (4.15)$$

Ως εκ τούτου, προκύπτει ότι:

$$\frac{h_T'}{h_R'} \approx \frac{d_1}{d_2} \quad (4.16)$$

Αντικαθιστώντας, τις εξισώσεις 4.13 και 4.14 στην εξίσωση 4.16, προκύπτει το εξής:

$$2 * d_1^3 - 3 * d * d_1^2 + [d^2 - 2 * r_e * (h_T + h_R)] * d_1 + 2 * r_e * h_T * d = 0 \quad (4.17)$$

Η ρίζα της εξίσωσης δίνεται προσεγγιστικά ως εξής:

$$d_1 \approx \frac{d}{1 + \frac{h_R}{h_T}} \quad (4.18)$$

$$d_2 \approx \frac{d}{1 + \frac{h_T}{h_R}} \quad (4.19)$$

Στη συνέχεια, υπολογίζεται το μήκος της απόστασης από την κεραία του πομπού έως την κεραία του δέκτη.

$$R_1 = d * \left(1 + \frac{(h_T' - h_R')^2}{d^2} \right)^{1/2} \quad (4.20)$$

Ομοίως, υπολογίζεται η απόσταση του ανακλώμενου κύματος από τον πομπό έως το δέκτη.

$$R_2 = d * \left(1 + \frac{(h_T' + h_R')^2}{d^2}\right)^{1/2} \quad (4.21)$$

Η διαφορά ΔR , του R_1 από το R_2 υπολογίζεται ως εξής:

$$\Delta R = d * \left\{ \left(1 + \frac{(h_T' + h_R')^2}{d^2}\right)^{1/2} - \left(1 + \frac{(h_T' - h_R')^2}{d^2}\right)^{1/2} \right\} \quad (4.22)$$

Αν ισχύει ότι $d > h_T', h_R'$ τότε το ΔR , διαμορφώνεται ως εξής:

$$\Delta R = \frac{2 * h_T' * h_R'}{d} \quad (4.23)$$

Αντίστοιχα, η διαφορά φάσης είναι η ακόλουθη:

$$\Delta\varphi = \frac{2 * \pi}{\lambda} * \Delta R \quad (4.24)$$

$$\Delta\varphi = \frac{4 * \pi * h_T' * h_R'}{\lambda * d} \quad (4.25)$$

Η συνολική ενέργεια στην κεραία του δέκτη, περιγράφεται ως εξής:

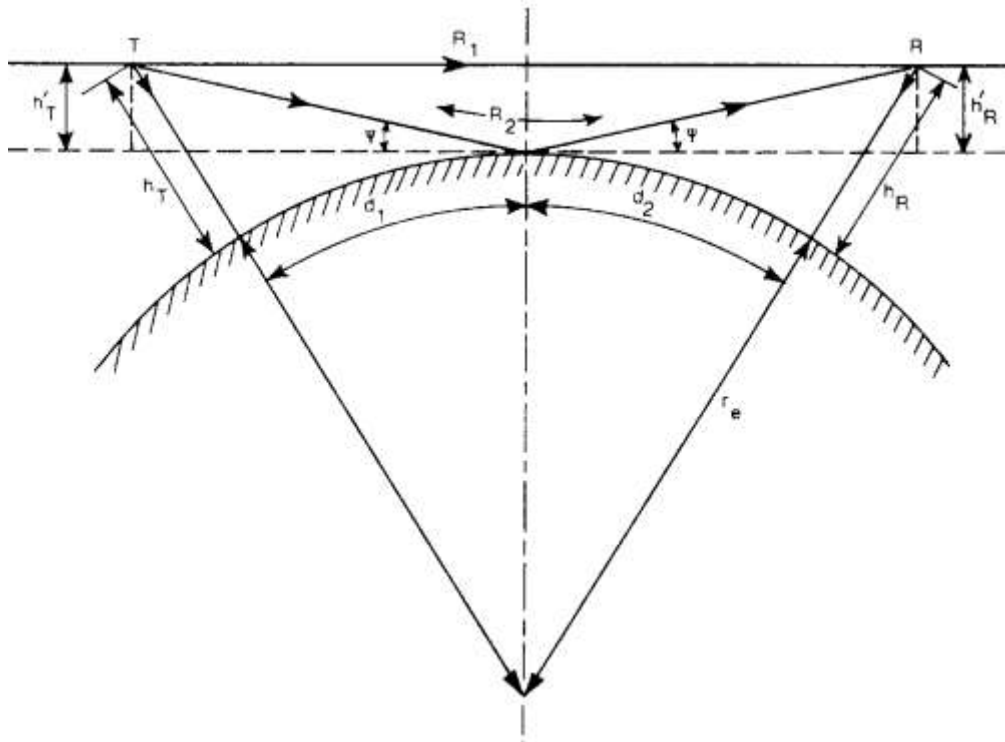
$$E = E_d * [1 + \rho * e^{j*\Delta\varphi}] \quad (4.26)$$

Το E_d δείχνει την ενέργεια του άμεσου κύματος και το ρ , είναι ο συντελεστής ανάκλασης. Για το ρ ισχύει ότι:

$$\rho = |\rho| * e^{j\theta} \quad (4.27)$$

Έτσι, η σχέση 4.26 διαμορφώνεται ως εξής:

$$E = E_d * [1 + |\rho| * e^{j*(\Delta\varphi - \theta)}] \quad (4.28)$$



Εικόνα 4. 6: Ανάκλαση σε σφαιρική επιφάνεια

4.2.2: Διάθλαση

Ένα μεταδιδόμενο κύμα κατά την πρόσπτωση του σε κάποια επιφάνεια, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, μπορεί να ανακλαστεί προς κάποια κατεύθυνση. Ένα άλλο μέρος του κύματος, όμως, μπορεί να απορροφηθεί από την επιφάνεια. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται διάθλαση και πραγματοποιείται, όταν το μεταδιδόμενο κύμα περνά σε ένα μέσο διάδοσης, όπου η πυκνότητα και η ταχύτητα μετάδοσης, είναι διαφορετικά από το μέσο που βρισκόταν αρχικά το κύμα. Συνέπεια αυτού του φαινομένου, είναι το διαθλώμενο κύμα να αποκτήσει διαφορετική ταχύτητα και να ακολουθήσει διαφορετική κατεύθυνση μετά τη διάθλαση του. Όπως και στην ολική ανάκλαση, ισχύει ο νόμος του Snell και στη διάθλαση, και αποδεικνύεται με τον ακόλουθο τρόπο. Αρχικά, από τις εξισώσεις 4.1 και 4.2, είναι γνωστός ο τρόπος που υπολογίζεται η συχνότητα και η περίοδος ενός κύματος, [64][65][66]. Συνδυάζοντας τις δύο αυτές σχέσεις, προκύπτει το εξής:

$$\lambda_1 = v_1 * T = \frac{c * T}{n_1} \quad (4. 29)$$

$$\lambda_2 = v_2 * T = \frac{c * T}{n_2} \quad (4. 30)$$

Καθώς ισχύει ότι:

$$v = \frac{c}{n} \quad (4.31)$$

Συνδυάζοντας τις σχέσεις 4.29 και 4.30, προκύπτει το εξής:

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (4.32)$$

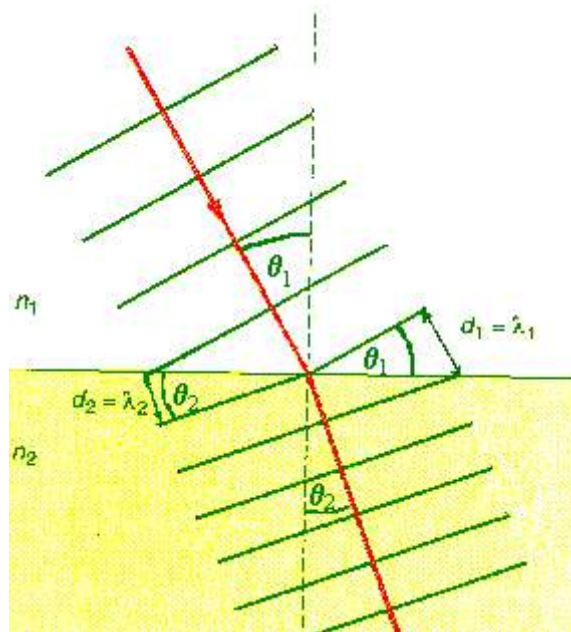
Από την εικόνα 4.7, προκύπτει ότι:

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \quad (4.33)$$

Έτσι, από τις σχέσεις 4.32 και 4.33, προκύπτει ο νόμος του Snell, ως εξής:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \quad (4.34)$$

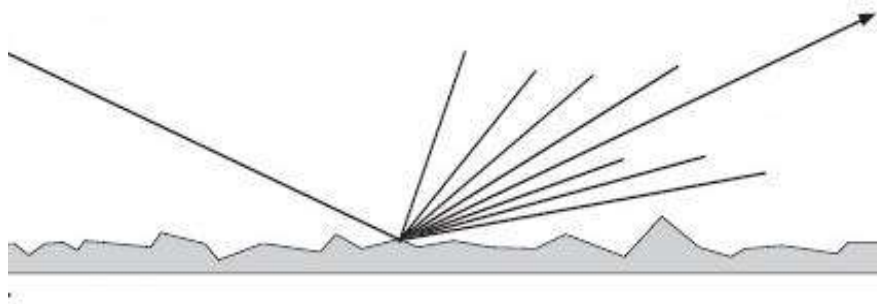
$$n_1 * \sin \theta_1 = n_2 * \sin \theta_2 \quad (4.35)$$



Εικόνα 4. 7: Διάθλαση κύματος

4.2.3: Σκέδαση

Σκέδαση είναι το φαινόμενο που συμβαίνει, όταν ένα ραδιοκύμα προσπίπτει σε κάποια επιφάνεια ή σε ένα αντικείμενο, το οποίο είναι ανομοιογενές και ανώμαλο. Το μέγεθος του αντικειμένου, στο οποίο προσπίπτει το κύμα, είναι ίδιο ή μικρότερο της τάξης του μήκους κύματος του σήματος. Αποτέλεσμα του φαινομένου της σκέδασης, είναι τα προσπίπτοντα κύματα να αλλάζουν και να ακολουθούν διαφορετικές κατευθύνσεις και η ενέργεια από τον πομπό να επανεκπέμπεται. Υπάρχει η πιθανότητα, όταν ένα κύμα συναντήσει ένα τέτοιο μέσο, να συμβεί σκέδαση σε μικρό ποσοστό του κύματος προς τα πίσω. Έτσι, το μέρος αυτό θα γυρίσει πίσω στην κεραία εκπομπής. Αντικείμενα που μπορεί να προκαλέσουν σκέδαση, είναι οι φυλλωσιές των δέντρων, οι πινακίδες, οι πολυκατοικίες. Επίσης, μπορεί να συμβεί σκέδαση λόγω του εδάφους της γης, ακόμα και από φαινόμενα που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα, όπως για παράδειγμα η βροχή. Κατά τη σχεδίαση τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, όμως, είναι δύσκολο να προβλεφθεί και να προσεγγιστεί το φαινόμενο της σκέδασης. [67][68]



Εικόνα 4. 8: Φαινόμενο σκέδασης

Σε μια τραχιά επιφάνεια, η τυχαιότητα του ύψους των ανωμαλιών υπολογίζεται από την κατανομή του Gauss.

$$\Delta\varphi = \frac{4 * \pi * \sigma_h * \sin \beta}{\lambda} \quad (4. 35)$$

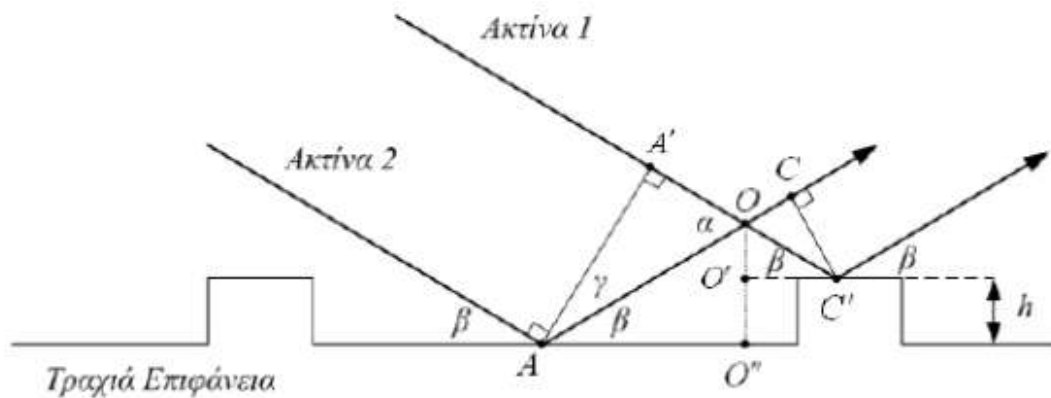
Ύστερα από την πρόσπτωση σε μια τραχιά επιφάνεια, η ενέργεια διαχωρίζεται σε δύο συνιστώσες. Η μία είναι εκείνη που περιγράφει την ανάκλαση προς την σωστή

κατεύθυνση και η δεύτερη, τη διακεχυμένη ανάκλαση που προκαλείται λόγω της σκέδασης, [86]. Ο συντελεστής ανάκλασης επηρεάζεται από την τραχύτητα του εδάφους και διαμορφώνεται ως εξής:

$$R_{\text{ανακ}} = R^* \rho_{\text{σκεδ}} \quad (4.36)$$

Το $\rho_{\text{σκεδ}}$ είναι ο συντελεστής σκέδασης και ισχύει ότι:

$$|\rho_{\text{σκεδ}}| \leq 1 \quad (4.37)$$



Εικόνα 4. 9: Ανάκλαση και σκέδαση

4.3: Παρεμβολή μεταξύ συμβόλων

4.3.1: Περιγραφή

Ένα φαινόμενο που μπορεί να προκληθεί στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα και κυρίως στα ψηφιακά, είναι η παρεμβολή μεταξύ συμβόλων (ISI – Inter Symbol Interference). Στα ψηφιακά συστήματα, η πληροφορία μεταδίδεται μέσω των συμβόλων ‘0’ και ‘1’. Επομένως, εκπέμπεται η πληροφορία από την κεραία του πομπού και λαμβάνεται από την κεραία του δέκτη, ο οποίος αποκωδικοποιεί και διαβάζει την πληροφορία. Εάν κατά τη διάδοση, παρέμβουν σε αυτή γειτονικά σύμβολα από άλλες διαδρομές, ένα ποσοστό της ενέργειας επικαλύπτεται εξαιτίας της παρεμβολής και προκαλείται το φαινόμενο της παρεμβολής μεταξύ συμβόλων. Λόγω του φαινομένου αυτού, μπορεί να δημιουργηθεί θόρυβος στο κανάλι επικοινωνίας ή ο δέκτης να λάβει λανθασμένα δεδομένα. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να μην

αποκωδικοποιηθεί σωστά η πληροφορία που λαμβάνεται, να προκληθεί απώλεια ενός μέρους του σήματος και η επικοινωνία να θεωρηθεί λιγότερο αξιόπιστη. [69]

Μία από τις αιτίες που μπορεί να προκαλέσει παρεμβολή μεταξύ συμβόλων, είναι η διάδοση πολλαπλών διαδρομών. Σύμφωνα με αυτή, το κύμα μεταδίδεται από τον πομπό και ταξιδεύει μέσω πολλών διαφορετικών διαδρομών, ώσπου να ληφθεί από τον δέκτη. Η διάδοση πολλαπλών διαδρομών μπορεί να προκληθεί λόγω φαινομένων, όπως ανάκλαση ή διάθλαση κυμάτων. Επιπλέον, το γεγονός αυτό, μπορεί να αλλάξει τη φάση και το πλάτος των μεταδιδόμενων κυμάτων και να μην φτάσουν στο δέκτη παράλληλα την ίδια στιγμή. Αυτοί είναι και οι λόγοι, που ορισμένα σύμβολα μπορεί να παρέμβουν σε άλλα γειτονικά σύμβολα και να προκληθεί αυτό το φαινόμενο. Παρεμβολή μεταξύ συμβόλων, επίσης, μπορεί να συμβεί λόγω καναλιών περιορισμένου εύρους. Τα κανάλια αυτά μπορεί να είναι ενσύρματα, ασύρματα ή και δορυφορικά. Σε αυτού του είδους τα κανάλια, το σήμα μεταδίδεται με πιο αυστηρό τρόπο, καθώς πέρα από μία συγκεκριμένη συχνότητα, η οποία ονομάζεται συχνότητα αποκοπής, η συχνότητα απόκρισης είναι μηδενική. Ουσιαστικά, γίνεται ένα φιλτράρισμα στο κανάλι κατά την μετάδοση του σήματος. Σε όσα σήματα περνάνε πάνω από τη συχνότητα αποκοπής, επηρεάζεται και αλλάζει το σχήμα του παλμού και αυτό παρεμβαίνει στα επόμενα σήματα. [70][71]

4.3.2: Μαθηματική προσέγγιση

Μαθηματικά, η παρεμβολή μεταξύ συμβόλων μπορεί να εκφραστεί με τον ακόλουθο τρόπο. Αρχικά, δίνεται το σήμα από την έξοδο του πομπού:

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n * g_T * (t - n * T_s) \quad (4. 38)$$

Όπου a_n είναι η ακολουθία σημάτων και g_T , το φίλτρο εκπομπής. Ύστερα δίνεται η συνέλιξη του πομπού και του καναλιού, από τον ακόλουθο τύπο:

$$v(t) = g_T(t) * h(t) \quad (4. 39)$$

Όπου με $h(t)$ περιγράφεται η κρουστική απόκριση.

Μετά τη συνέλιξη, προκύπτει η έξοδος του καναλιού, η οποία δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$r(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n * v(t - n * T_s) + n(t) \quad (4.40)$$

Όπου με $n(t)$ περιγράφεται ο θόρυβος.

Στη συνέχεια, δίνεται το σήμα στην έξοδο της λήψης:

$$z(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n * x(t - n * T_s) + n(t) \quad (4.41)$$

Όπου το $x(t)$, εκφράζεται ως εξής:

$$x(t) = g_R(t) * v(t) \quad (4.42)$$

Με το g_R περιγράφεται το φίλτρο λήψης.

Έτσι, το τελικό δείγμα που λαμβάνεται για την παρεμβολή μεταξύ συμβόλων είναι το ακόλουθο:

$$z_m = a_m * x_0 + \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_{m-n} * x_n + n_m \quad (4.43)$$

Για να μηδενιστεί η παρεμβολή μεταξύ συμβόλων, θα πρέπει να ισχύει το εξής:

$$x_{m-n} = x(m * T - n * T) = 0, \quad n \neq m \quad (4.44)$$

$$x_0 = x(0) \neq 0 \quad (4.45)$$

Το φαινόμενο αυτό, μπορεί να αντιμετωπιστεί με τη συνθήκη του Nyquist. Σύμφωνα με αυτή, η παρεμβολή μεταξύ συμβόλων μπορεί να μηδενιστεί, εάν τη στιγμή που πραγματοποιείται δειγματοληψία του επιθυμητού συμβόλου, επιλεγεί ένας μη μηδενικός παλμός. Κατά τη δειγματοληψία των υπόλοιπων συμβόλων, θα πρέπει να επιλεγεί ένας μηδενικός παλμός. Η συνθήκη του Nyquist, εκφράζει το εξής:

$$x(t) = \begin{cases} c, & n = 0 \\ 0, & n \neq 0 \end{cases} \quad (4.46)$$

Όπου c , είναι μία σταθερά η οποία είναι ίση με 1.

Για το $x(t)$ σύμφωνα με τις σχέσεις 4.39 και 4.42, ισχύει ότι:

$$x(t) = g_R(t) * h(t) * g_T(t) \quad (4.47)$$

$$X(f) = G_R(f) * H(f) * G_T(f) \quad (4.48)$$

Οπότε αν W , είναι το εύρος ζώνης του καναλιού, τότε:

$$H(f) = 0, |f| > W \quad (4.49)$$

$$X(f) = G_R(f) * H(f) * G_T(f) = 0, |f| > W \quad (4.50)$$

Ως εύρος ζώνης, ορίζεται το εξής:

$$B_T = \frac{1}{2 * T_s} \quad (4.51)$$

Στην πρώτη περίπτωση που $B_T > W$, τότε η συνθήκη του Nyquist δεν μπορεί να ικανοποιηθεί και η παρεμβολή δεν θα μπορεί να αποφευχθεί. Στη δεύτερη περίπτωση που $B_T = W$, η συνθήκη του Nyquist μπορεί να ικανοποιηθεί αν ισχύει το εξής:

$$X(f) = \begin{cases} T_s, & |f| < W \\ 0, & \text{αλλού} \end{cases} \quad (4.52)$$

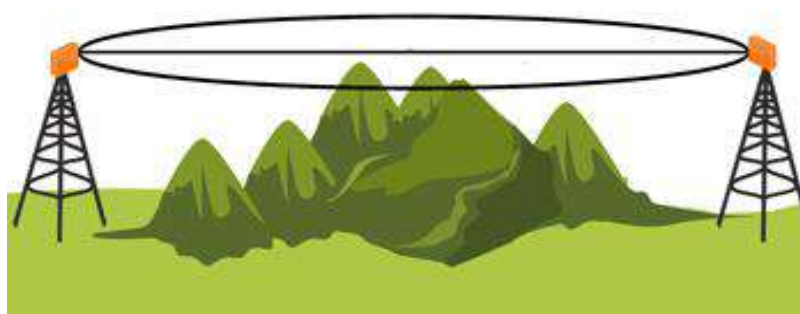
Τέλος, στην τρίτη περίπτωση στην οποία ισχύει $B_T < W$, η συνθήκη του Nyquist μπορεί να ικανοποιηθεί για πολλές επιλογές του $X(f)$. [70][71]

4.4: Ζώνες Fresnel

4.4.1: Περιγραφή

Όπως έχει αναφερθεί, τα ραδιοκύματα μπορούν να ταξιδέψουν από έναν πομπό προς ένα δέκτη, με διάφορους τρόπους. Μπορεί να γίνει απευθείας διάδοση σε ελεύθερο χώρο, χωρίς την ύπαρξη εμποδίων. Επιπλέον, αν υπάρξουν εμπόδια μεταξύ

του πομπού και του δέκτη, τα ραδιοκύματα θα συνεχίσουν τη διάδοσή τους μέσω της ανάκλασης, της διάθλασης, της περίθλασης ή της σκέδασης. Έτσι, για να υπολογίζονται οι αντανάκλασεις και οι απώλειες που μπορεί να προκληθούν, προέκυψε η θεωρία του Fresnel. Σύμφωνα με αυτή, η ζώνη Fresnel είναι μία περιοχή, η οποία καλύπτει τη νοητή γραμμή μεταξύ της κεραίας του πομπού και του δέκτη και το χώρο γύρω από αυτή, και έχει ελλειψοειδές σχήμα. Η απόσταση μεταξύ των δύο κεραίων, παίζει σημαντικό ρόλο για τον υπολογισμό της διαμέτρου της περιοχής. [53][73]



Εικόνα 4. 10: Απεικόνιση ζώνης Fresnel

Η περιοχή Fresnel, μπορεί να υποδιαιρεθεί σε άλλες ομόκεντρες ελλειψοειδείς ζώνες. Αν σε κάθε ζώνη, ο πομπός συμβολιστεί ως T και ο δέκτης συμβολιστεί ως R, τότε η παρακάτω σχέση περιγράφει κάθε σημείο M της περιοχής.

$$TM + MR = TR + n * \frac{\lambda}{2} \quad (4. 53)$$

Το n παίρνει διαφορετικές τιμές για κάθε ζώνη Fresnel. Για παράδειγμα, για την πρώτη ζώνη, παίρνει τιμή ίση με 1 και για την δεύτερη ζώνη, τιμή ίση με 2. Σύμφωνα με την σχέση 4.53, για την n - οστή ζώνη Fresnel, προκύπτει η ακόλουθη σχέση:

$$d_3 + d_4 = (d_1 + d_2) + n * \frac{\lambda}{2} \quad (4. 54)$$

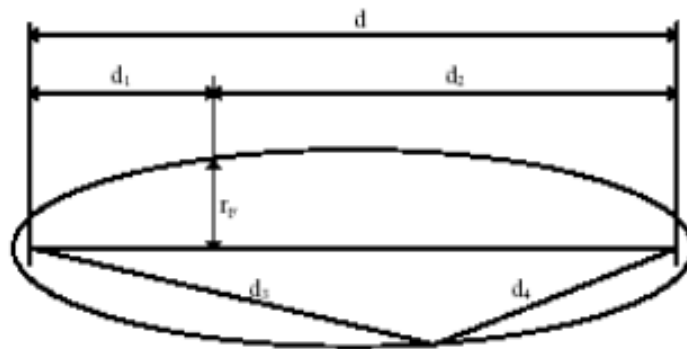
Ο γενικός τύπος για την ακτίνα της ζώνης, δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$R_{F_n} = \sqrt{\frac{n * \lambda * d_1 * d_2}{d_1 + d_2}} = \sqrt{n} * R_{F_1} \quad (4.55)$$

Για την πρώτη ζώνη, για $n = 1$, η σχέση 4.55 διαμορφώνεται ως εξής:

$$R_{F_1} = 17,3 * \sqrt{\frac{d_1 * d_2}{f(d_1 + d_2)}} \quad (4.56)$$

Το R_{F_n} περιγράφει την ακτίνα της n -οστής ζώνης και το R_{F_1} , την ακτίνα της πρώτης ζώνης. Με d_1 υπολογίζεται η απόσταση από την κεραία του πομπού έως το σημείο υπολογισμού και αντίστοιχα με d_2 , η απόσταση από το σημείο υπολογισμού έως την κεραία του δέκτη. Τέλος, με d περιγράφεται η συνολική απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη, η οποία υπολογίζεται σε km και με f , η συχνότητα μετάδοσης η οποία υπολογίζεται σε GHz. Οι σχέσεις 4.54, 4.55 και 4.56, απεικονίζονται και στην εικόνα 4.11. [73][74]



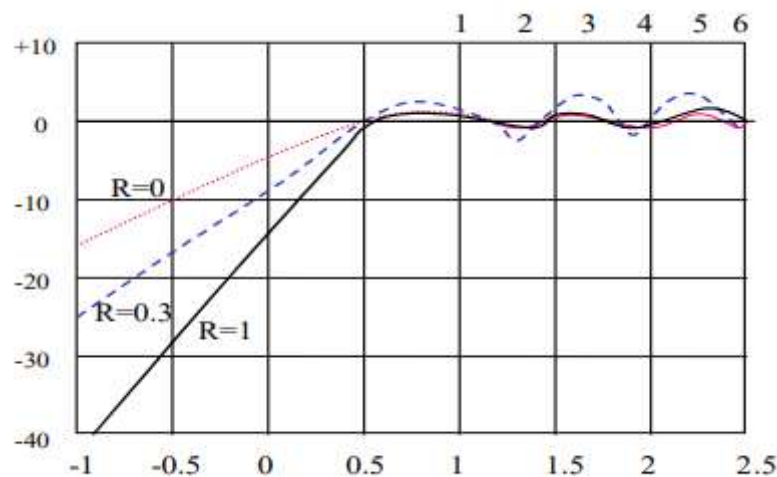
Εικόνα 4. 11: Ακτίνα πρώτης ζώνης

4.4.2: Πρώτη ζώνη Fresnel

Κατά την περίθλαση, σύμφωνα με την αρχή του Huygen όπως έχει ήδη αναφερθεί, όλα τα σημεία ενός ραδιοκύματος αντιμετωπίζονται ως πηγές επιπρόσθετης ακτινοβολίας. Υπάρχει, λοιπόν, η πιθανότητα μεταξύ του πομπού και του δέκτη μέσα στην περιοχή των ζωνών του Fresnel, να βρεθούν εμπόδια τα οποία προκαλούν περίθλαση και δημιουργούν ανακλάσεις. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα, τα κύματα που θα λάβει τελικά ο δέκτης, σε σχέση με τα κύματα που δεν παθαίνουν περίθλαση, να έχουν διαφορά φάσης $(n * \lambda) / 2$. Με αυτή τη διαφορά φάσης, είναι πιθανό είτε να

προκληθούν απώλειες και εξασθένηση στα κύματα που τελικά λαμβάνονται από τον δέκτη, είτε το τελικό σήμα να ενισχυθεί. Γενικά, παρ'όλο που υπάρχουν άπειρες ζώνες Fresnel, η πιο σημαντική για τη σχεδίαση ασύρματων επικοινωνιών, είναι η πρώτη. Έτσι, ο πιο βασικός τρόπος για να μην προκληθούν απώλειες λόγω της περίθλασης, είναι στην πρώτη ζώνη ή τουλάχιστον στο 60% της πρώτης ζώνης, να μην υπάρχουν καθόλου εμπόδια.

Το συμπέρασμα αυτό μπορεί να αποδειχθεί και από την εικόνα 4.10. Σε αυτή απεικονίζεται ένα διάγραμμα, το οποίο περιγράφει ποιες είναι οι απώλειες που προκαλούνται από την περίθλαση, σε σχέση με τα εμπόδια που υπάρχουν στην περιοχή της πρώτης ζώνης.



Εικόνα 4. 12: Περιγραφή απωλειών λόγω περίθλασης

Στον κάθετο άξονα, απεικονίζονται οι απώλειες που υπολογίζονται σε dB και στον οριζόντιο άξονα, απεικονίζεται η καθαρότητα της πρώτης ζώνης. Ως καθαρότητα, εκφράζεται η απόσταση του εμποδίου ως προς την ακτίνα της πρώτης ζώνης. Το R περιγράφει τον παράγοντα καμπυλότητας και αναλόγως τις τιμές που λαμβάνει, φαίνεται και το είδος της καμπυλότητας. Για παράδειγμα, τα αιχμηρά εμπόδια παίρνουν τιμές ίσες με 0, ενώ τα σφαιρικά εμπόδια παίρνουν τιμές ίσες με 1.

Από το παραπάνω διάγραμμα, γίνεται αντιληπτό πως όσο αυξάνεται η καμπυλότητα των εμποδίων, τόσο μεγαλύτερες είναι οι απώλειες που προκαλούνται. Επίσης, φαίνεται πως όταν η απόσταση του εμποδίου από τη νοητή ευθεία γραμμή μεταξύ του πομπού και του δέκτη, είναι κάτω από 0.6, οι απώλειες αυξάνονται ραγδαία.

Κυρίως, όμως, παρατηρείται αυτή η αύξηση, όταν η κορυφή του εμποδίου ξεπερνά και εμποδίζει την νοητή ευθεία γραμμή. Από όλα τα παραπάνω προκύπτει, πως αν δεν υπάρχει η δυνατότητα να αποφευχθούν τα εμπόδια μεταξύ του πομπού και του δέκτη, θα πρέπει τα ύψη των κεραιών να διαμορφωθούν, έτσι ώστε η νοητή ευθεία γραμμή να μην διακόπτεται από την ύπαρξη των εμποδίων. Με αυτόν τον τρόπο, η καθαρότητα της πρώτης ζώνης διασφαλίζεται περίπου κατά 60%.

Για λόγους πρακτικούς, δίνεται παρακάτω η σχέση για τη μέγιστη ακτίνα της πρώτης ζώνης, η οποία βρίσκεται στη μέση της έλλειψης:

$$r = 0,164 * \sqrt{\frac{d}{f}} \quad (4. 57)$$

Όπου με f , περιγράφεται η συχνότητα σε GHz και με d , η απόσταση μεταξύ των δύο κεραιών σε m. [73][74]

4.4.3: Υπόλοιπες ζώνες Fresnel

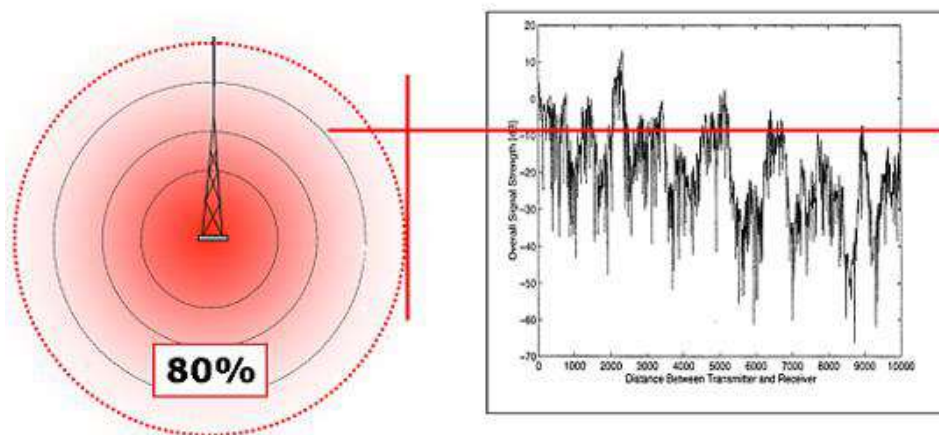
Πέρα από την πρώτη ζώνη, η οποία είναι η πιο σημαντική σε μια διάδοση, επίδραση έχουν επίσης η δεύτερη και η τρίτη. Τα σήματα που ανακλώνται από εμπόδια που εμφανίζονται στην πρώτη ζώνη, έχουν διαφορά φάσης με το βασικό σήμα, 0 έως 90 μοίρες. Στη δεύτερη ζώνη, τα ανακλώμενα σήματα έχουν διαφορά φάσης 90 έως 270 μοίρες και στην τρίτη ζώνη, 270 έως 450 μοίρες. Γενικότερα, αρνητικά αποτελέσματα προκύπτουν, όταν οι ανακλάσεις λόγω εμποδίων συμβαίνουν στις άρτιες αριθμημένες ζώνες. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το τελικό σήμα που λαμβάνει ο δέκτης, έχει εξασθενημένη ισχύ. Αντίθετα, όταν τα σήματα ανακλώνται στις περιττές αριθμημένες ζώνες, το τελικό σήμα που φτάνει στο δέκτη είναι ενισχυμένο. Αυτό προκύπτει από το γεγονός, ότι τα ανακλώμενα σήματα βρίσκονται σε φάση με το αρχικό σήμα. [75]

4.5: Πιθανότητα κάλυψης

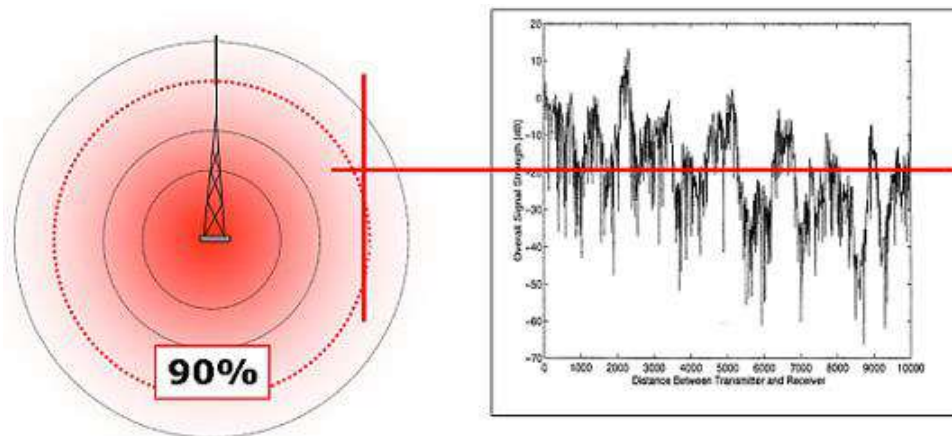
Η αξιοπιστία και η κάλυψη μιας διαδρομής και γενικότερα ενός ραδιοφωνικού συστήματος, στηρίζεται στη θεωρία της πιθανότητας. Αυτό συμβαίνει, γιατί η κάλυψη εξαρτάται από καιρικές και ατμοσφαιρικές συνθήκες, οι οποίες μεταβάλλονται διαρκώς και μπορούν να επηρεάσουν την αξιοπιστία ενός συστήματος. Ως εκ τούτου, καμία διαδρομή δεν είναι τέλεια. Έτσι, ορίζεται μια παράμετρος, που ονομάζεται “fade margin” και στην οποία βασίζονται τα ραδιοφωνικά συστήματα. Με τον όρο fade

margin (περιθώριο εξασθένησης), περιγράφεται η διαφορά μεταξύ του ελάχιστου επιπέδου σήματος και του πραγματικού επιπέδου σήματος που μπορεί να ληφθεί. Ορίζει ένα επιπλέον περιθώριο πάνω από το όριο του δέκτη και χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη αξιοπιστίας ενός ραδιοφωνικού δικτύου. Ωστόσο, δεν βοηθάει στην επικοινωνία. [76]

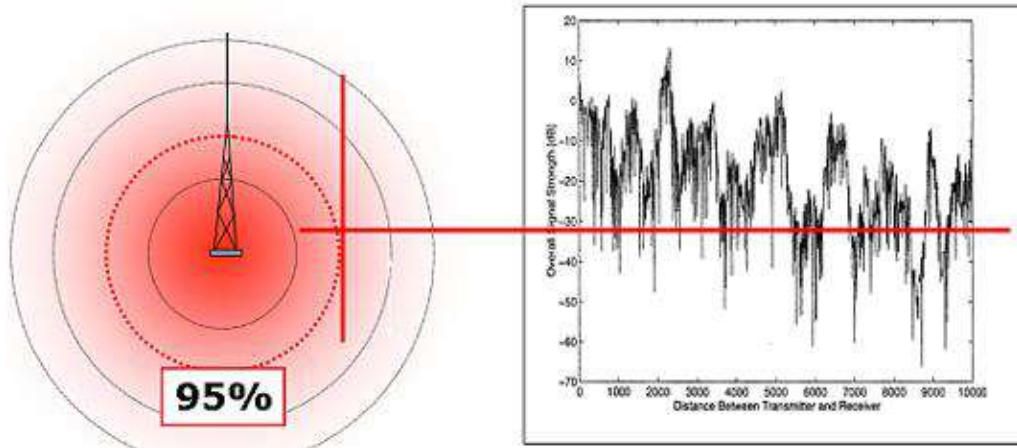
Γενικότερα, η πιθανότητα να ληφθεί ένα σήμα αυξάνεται, όσο αυξάνεται και η παράμετρος fade margin. Επίσης, κατά την αύξηση αυτής παραμέτρου, μειώνεται η περιοχή κάλυψης που δημιουργείται. Αυτό απεικονίζεται στις εικόνες 4.13, 4.14 και 4.15 παρακάτω.



Εικόνα 4. 13: Απεικόνιση Fade Margin (1)



Εικόνα 4. 14: Απεικόνιση Fade Margin (2)



Εικόνα 4. 15: Απεικόνιση Fade Margin (3)

Με την οριζόντια κόκκινη γραμμή απεικονίζεται το ελάχιστο επίπεδο σήματος λήψης και με τη μαύρη γραμμή, απεικονίζεται το πραγματικό επίπεδο σήματος. Έτσι, στις περιπτώσεις που η κόκκινη οριζόντια γραμμή είναι κάτω από τη μαύρη, σημαίνει πως το σήμα είναι αρκετά ισχυρό και ικανό να ληφθεί. Στα κυψελλοειδή συστήματα, το fade margin κυμαίνεται μεταξύ των 10 έως 20 dB. Ενώ, στα κινητά συστήματα το fade margin είναι από 6 έως 10 dB. [75]

4.5.1: Υπολογισμός fade margin

Αρχικά, δίνεται η μέση απώλεια διαδρομής που υπολογίζεται σε οποιαδήποτε απόσταση.

$$PL(d) = \gamma(d) + E(x_{dB}') \quad (4. 58)$$

Όπου με γ , ορίζεται η παράμετρος θέσης και ποικίλλει σε σχέση με την απόσταση, η οποία δίνεται σε km. Με $E(x_{dB}')$, ορίζεται η πιθανότητα απώλειας διαδρομής. [77][78]

Στη συνέχεια υπολογίζεται η συνάρτηση αθροιστικής διανομής (CDF), για εξασφαλιστεί διαθεσιμότητα. Εάν, η τιμή απώλειας διαδρομής πέφτει, όταν βρίσκεται πάνω από ένα κατώτατο όριο x_0 , τότε η συνάρτηση CDF εκφράζεται ως εξής:

$$F(x_0) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2} \cdot \pi} * \int_0^{x_0} \left(\frac{e^{\frac{-(\ln(x_{dB}') - \mu)^2}{2 \cdot \sigma^2}}}{x_{dB}'} \right) * dx_{dB}' \quad (4. 59)$$

Όπου το μ είναι παράμετρος συνεχούς κλίμακας και το σ , είναι παράμετρος συνεχούς σχήματος.

Η πιθανότητα διαθεσιμότητας για κατώτατη τιμή $x_{dB}' = x_0$, ορίζεται ως εξής:

$$P_{avail} = 1 - P_{out} = p(x_{dB}' < x_0) \quad (4. 60)$$

Το P_{out} είναι η πιθανότητα διακοπής.

Για να υπολογιστεί η διαθεσιμότητα P_{avail} , το όριο θα πρέπει να αναφέρεται στη μέση τιμή απώλειας διαδρομής σε dB. Έτσι, το P_{avail} μπορεί να βρεθεί ως εξής:

$$P_{avail} = \frac{1}{\sigma \sqrt{2} * \pi} * \int_{E(x_{dB}')}^{x_0} \left(\frac{e^{\frac{-(\ln(x_{dB}') - \mu)^2}{2 * \sigma^2}}}{x_{dB}'} \right) * dx_{dB}' \quad (4. 61)$$

$$P_{avail} = F(x_0) - \frac{1}{\sigma \sqrt{2} * \pi} * \int_0^{E(x_{dB}')} \left(\frac{e^{\frac{-(\ln(x_{dB}') - \mu)^2}{2 * \sigma^2}}}{x_{dB}'} \right) * dx_{dB}' \quad (4. 62)$$

Για το $E(x_{dB}')$ ισχύει ότι:

$$E(x_{dB}') = e^{\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2} \right)} \quad (4. 63)$$

Κεφάλαιο 5: Μοντέλα ραδιοδιάδοσης

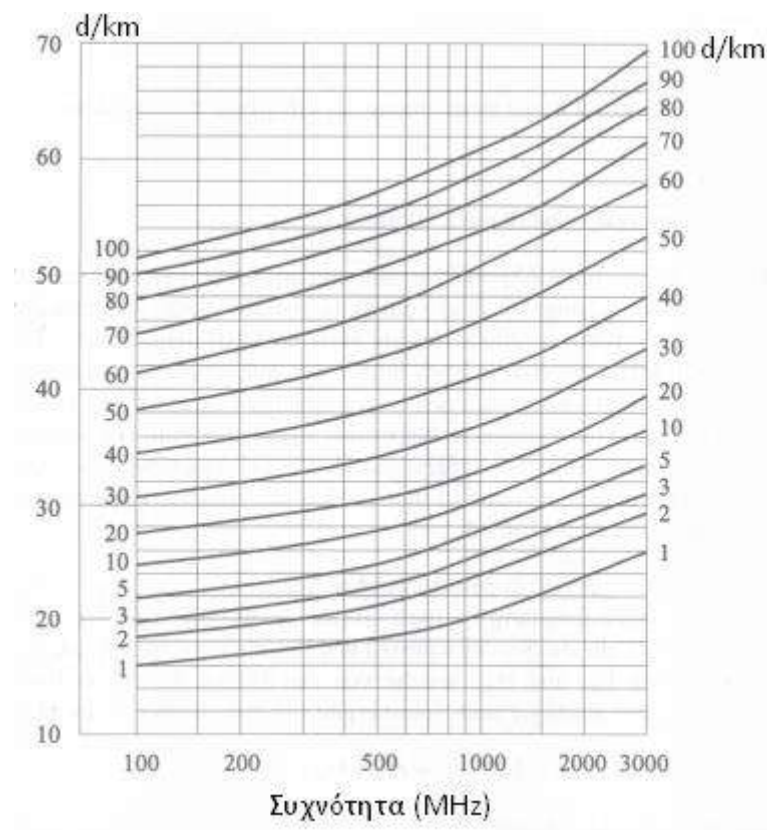
Τα μοντέλα διάδοσης κυμάτων μπορούν να διακριθούν σε διάφορες κατηγορίες, αναλόγως των χαρακτηριστικών του περιβάλλοντος, στο οποίο γίνεται η διάδοση. Τα χαρακτηριστικά αυτά μπορεί να αφορούν το είδος και το μέγεθος της περιοχής, αν είναι δηλαδή αστική, προαστιακή ή αγροτική, και τη γεωγραφική θέση της περιοχής. Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζει η διαμόρφωση του εδάφους, αν για παράδειγμα είναι επίπεδο ή λοφώδες, καθώς και η ύπαρξη φυσικών εμποδίων, όπως δέντρα ή βουνά. Αντίστοιχα, σημαντικός παράγοντας για τη διάκριση των μοντέλων αποτελεί και η ύπαρξη τεχνητών εμποδίων, όπως κτήρια, καθώς και τα χαρακτηριστικά τους, το ύψος τους, η θέση τους και οι αποστάσεις μεταξύ τους. Τέλος, φυσικά η διάκριση εξαρτάται και από το ύψος των κεραιών του πομπού και του δέκτη, όπως και η απόσταση μεταξύ τους.

Έτσι, τα μοντέλα διακρίνονται σε εμπειρικά, ντετερμινιστικά και θεωρητικά. Τα εμπειρικά μοντέλα είναι σχετικά απλά και γρήγορα ως προς την εφαρμογή τους. Ωστόσο, δεν είναι ιδιαίτερα ακριβή, καθώς δεν χρησιμοποιούν πληροφορίες για το περιβάλλον μετάδοσης. Αναλύονται με τη χρήση εξισώσεων, ύστερα από μετρήσεις που πραγματοποιούνται σχετικά με τις απώλειες. Τα θεωρητικά μοντέλα δεν είναι τα πλήρως κατάλληλα για τον υπολογισμό των απωλειών. Αυτό συμβαίνει, γιατί δεν αποδεικνύονται με εξισώσεις και βασίζονται μόνο σε υποθέσεις για τη δομή του εδάφους ή των κτηρίων. Τα ντετερμινιστικά μοντέλα χρησιμοποιούν πολύπλοκες και αναλυτικές μεθόδους για τον υπολογισμό των απωλειών και περιγράφουν με μεγάλη λεπτομέρεια το περιβάλλον διάδοσης των κυμάτων καθώς και των χαρακτηριστικών του.

Επίσης, τα μοντέλα διάδοσης μπορούν να διακριθούν σε μοντέλα εσωτερικού και εξωτερικού χώρου. Τα μοντέλα εσωτερικού χώρου, μελετούν τη διάδοση των κυμάτων σε χώρους μέσα σε κτήρια. Οι αποστάσεις εδώ είναι μικρότερες και λαμβάνεται υπόψη μόνο η διαδρομή από τον πομπό στο δέκτη. Αντίθετα, τα μοντέλα εξωτερικού χώρου μελετούν το περιβάλλον διάδοσης, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως και τη διάδοση σε μακροκυψέλες και μικροκυψέλες. Στις μακροκυψέλες, το ύψος της κεραιάς του πομπού είναι πάνω από το ύψος όλων των κτηρίων. Σε αντίθεση στις μικροκυψέλες, το ύψος της κεραιάς του πομπού, βρίσκεται κάτω από το ύψος των κτηρίων.

5.1: Μοντέλο Okumura – Hata

Το μοντέλο Okumura δημιουργήθηκε, χρησιμοποιώντας μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν και συλλέχθηκαν στο Τόκιο της Ιαπωνίας. Είναι ένα εμπειρικό μοντέλο και το πιο βασικό που χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη σήματος και απώλειας διαδρομής. Ισχύει για εύρος συχνοτήτων από 150 έως 1920 MHz, για αποστάσεις 1 έως 100 km και για ύψη κεραίας σταθμού βάσης, από 30 έως 1000 μέτρα. Χρησιμοποιείται ιδανικά σε αστικές, προαστιακές και ανοιχτές περιοχές και αποτελεί τη βάση για το μοντέλο Hata. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται από ένα σύνολο καμπυλών, που εκφράζουν τη μέση εξασθένηση ως συνάρτηση της συχνότητας, της απόστασης και των υψών, σε σχέση με τον ελεύθερο χώρο. [79]



Εικόνα 5. 1: Υπολογισμός απώλειας με το μοντέλο Okumura-Hata

Αρχικά, το μοντέλο Okumura δημιουργήθηκε για την επίλυση εξισώσεων χωρίς την χρήση υπολογιστικών μοντέλων. Για το λόγο αυτό και για λόγους διευκόλυνσης, το μοντέλο Hata πρότεινε μια σειρά εμπειρικών σχέσεων, οι οποίες προέκυψαν από τις

καμπύλες Okumura. Έτσι, τελικά η απώλεια διάδοσης που εκφράζεται σε dB, υπολογίζεται από το μοντέλο Okumura – Hata, από την ακόλουθη σχέση:

$$L_b = 69,55 + 26,16 * \log f - 13,82 * \log h_b - a(h_m) + (44,9 - 6,55 * \log h_b) * \log d \quad (5. 1)$$

Όπου h_m είναι το ύψος του κινητού σταθμού, h_b το ύψος της κεραίας του βασικού σταθμού βάσης. [80]

Η παραπάνω σχέση λειτουργεί μέσα στα ακόλουθα όρια:

$$150 \text{ MHz} < f < 1500 \text{ MHz} \quad (5. 2)$$

$$30\text{m} < h_b < 200\text{m} \quad (5. 3)$$

$$1\text{m} < h_m < 10\text{m} \quad (5. 4)$$

$$1\text{km} < d < 20\text{km} \quad (5. 5)$$

Το $a(h_m)$ στη σχέση 5.1, λειτουργεί ως παράγοντας για τη διόρθωση του ύψους της κεραίας του κινητού σταθμού και υπολογίζεται με τον ακόλουθο τρόπο.

Για αστικές, μικρές ή μεσαίες περιοχές ισχύει το εξής:

$$a(h_m) = (1,1 * \log f - 0,7) * h_m - (1,56 * \log f - 0,8) \quad (5. 6)$$

όπου, $1\text{m} \leq h_m \leq 10\text{m}$.

Για αστικές, μεγάλες περιοχές ισχύει το εξής:

$$a(h_m) = \begin{cases} 8,29 * (\log(1,54 * h_m))^2 - 1,1 & f \leq 200\text{MHz} \\ 3,2 * (\log(11,75 * h_m))^2 - 4,97 & f \geq 400\text{MHz} \end{cases} \quad (5. 7)$$

Για προαστιακές περιοχές, ισχύει το εξής:

$$L_{\text{προαστιακό}} = L_b - 2 * \left[\log \left(\frac{f}{28} \right) \right]^2 - 5,4 \quad (5. 8)$$

Για ανοιχτές περιοχές, ισχύει το εξής:

$$L_{\text{ανοιχτό}} = L_b - 4,78 * \log(f)^2 + 18,33 * \log f - 40,94 \quad (5.9)$$

5.2: Μοντέλο COST 231 – Hata

Το μοντέλο COST 231 – Hata αποτελεί επέκταση του μοντέλου Okumura – Hata και καλύπτει ένα μεγαλύτερο εύρος ζώνης, έως 2000 MHz. Το μοντέλο αυτό σχεδιάστηκε στην Ευρώπη, για τον υπολογισμό απωλειών σε αστικές ευρωπαϊκές περιοχές. Ισχύει για ύψη κεραιών πομπού από 30 έως 200 μέτρα και για ύψη κεραιών δέκτη, έως και 10 μέτρα. Χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό και την πρόβλεψη απώλειας διαδρομής σε ασύρματα κινητά δίκτυα, σε αστικές, προαστιακές και αγροτικές περιοχές. Έτσι, η σχέση για τον υπολογισμό της απώλειας σε dB, είναι η ακόλουθη:

$$L_p = 46,3 + 33,9 * \log f - 13,82 * \log h_b - a(h_m) + (44,9 - 6,55 * \log h_b) * \log d + C_m \quad (5.10)$$

Όπου f είναι η συχνότητα σε MHz, d είναι η απόσταση μεταξύ της κεραιάς του πομπού και της κεραιάς του δέκτη σε km, h_m είναι το ύψος του κινητού σταθμού και h_b το ύψος της κεραιάς του βασικού σταθμού βάσης. Το $a(h_m)$, λειτουργεί ως παράγοντας για τη διόρθωση του ύψους της κεραιάς του κινητού σταθμού και υπολογίζεται με τον ακόλουθο τρόπο. Υπολογίζεται από τις σχέσεις 5.6 και 5.7, [81][82][83]. Το C_m υπολογίζεται ως εξής:

$$C_m = \begin{cases} 0 \text{ dB, για πόλεις μεσαίου μεγέθους και προαστιακά κέντρα} \\ 3 \text{ dB, για μητροπολιτικά κέντρα} \end{cases} \quad (5.11)$$

Η σχέση 5.10 λειτουργεί μέσα στα ακόλουθα όρια:

$$1500 \text{ MHz} < f < 2000 \text{ MHz} \quad (5.12)$$

$$30\text{m} < h_b < 200\text{m} \quad (5.13)$$

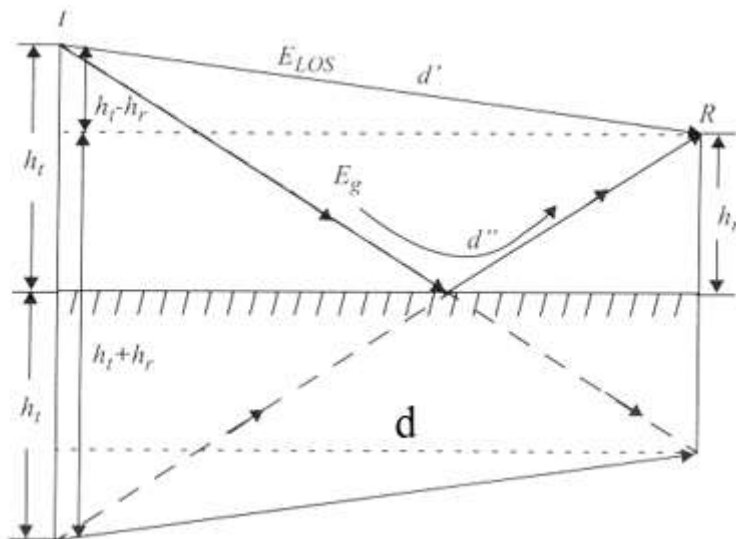
$$1\text{m} < h_m < 10\text{m} \quad (5.14)$$

$$1\text{km} < d < 20\text{km}$$

$$(5.15)$$

5.3: Μοντέλο δύο ακτινών (two – ray model)

Το μοντέλο δύο ακτινών προβλέπει με αρκετά μεγάλη ακρίβεια την ισχύ ενός λαμβανόμενου σήματος. Στο μοντέλο διάδοσης σε ελεύθερο χώρο, όπως έχει αναφερθεί, δεν υπολογίζονται οι ανακλάσεις στη διάδοση των κυμάτων. Εκτός, όμως, από τη διαδρομή ορατότητας, στο μοντέλο δύο ακτινών υπολογίζονται και οι ανακλώμενες διαδρομές από την κεραία του πομπού μέχρι την κεραία του δέκτη. Σημαντικό ρόλο στο μοντέλο αυτό, πέρα από τα φαινόμενα ανάκλασης, παίζουν και τα ύψη των κεραιών από το έδαφος.



Εικόνα 5. 2: Μοντέλο δύο ακτινών

Αρχικά, υπολογίζεται η ένταση του πεδίου η οποία είναι ανάλογη της τετραγωνικής ρίζας της ισχύος. Η τάση, η φάση και το μέτρο του λαμβανόμενου σήματος στην κεραία, καθορίζονται από την ένταση.

$$E_{tot} = E_{los} + E_g \quad (5.16)$$

Με E_{los} περιγράφεται το πεδίο που δημιουργείται από την συνιστώσα οπτικής επαφής, με E_g περιγράφεται το πεδίο που δημιουργείται λόγω της ανάκλασης και με E_{tot} , περιγράφεται το συνολικό πεδίο. [84][85]

Το E_{los} δίνεται από την εξής σχέση:

$$E_{los}(d',t) = \frac{E_o * d_o}{d'} * \cos\left(\omega_c * \left(t - \frac{d'}{c}\right)\right) \quad (5.17)$$

Το d_o ορίζεται ως απόσταση αναφοράς στο μακρινό πεδίο της κεραίας και ισχύει ότι $d' > d_o$.

Το E_g αντίστοιχα, δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$E_g(d'',t) = \Gamma * \frac{E_o * d_o}{d''} * \cos\left(\omega_c * \left(t - \frac{d''}{c}\right)\right) \quad (5.18)$$

Το Γ είναι ο συντελεστής ανακλάσεως του εδάφους.

Από την εικόνα 5.2, προκύπτει η διαφορά της ευθείας από την ανακλώμενη διαδρομή, από την παρακάτω σχέση:

$$\Delta = d'' - d' \quad (5.19)$$

$$\Delta = \sqrt{(h_t + h_r)^2 + d^2} - \sqrt{(h_t - h_r)^2 + d^2} \quad (5.20)$$

$$\Delta = d * \left(\sqrt{1 + \frac{(h_t + h_r)^2}{d^2}} - \sqrt{1 + \frac{(h_t - h_r)^2}{d^2}} \right) \quad (5.21)$$

Με βάση την ακόλουθη προσέγγιση:

$$\sqrt{1 + x^2} \approx 1 + \frac{1}{2} * x^2 \quad (5.22)$$

η σχέση 5.21 διαμορφώνεται ως εξής:

$$\Delta \approx \frac{2 * h_t * h_r}{d} \quad (5.23)$$

Στη συνέχεια, δίνεται η διαφορά φάσης μεταξύ των δύο διαδρομών, από την ακόλουθη σχέση:

$$\theta_{\Delta} = \frac{2 * \pi * \Delta}{\lambda} = \frac{4 * \pi * h_t * h_r}{\lambda * d} \quad (5.24)$$

Γενικά, η διαφορά πλάτους μεταξύ των E_{los} και E_g για μεγάλες αποστάσεις d , είναι μικρή.

$$\left| \frac{E_o * d_o}{d'} \right| \approx \left| \frac{E_o * d_o}{d''} \right| \approx \left| \frac{E_o * d_o}{d} \right| \quad (5.25)$$

Η πιο βασική διαφορά είναι αυτή μεταξύ των φάσεων. Δηλαδή, για δύο συνημίτονα ίσου πλάτους που έχουν διαφορά φάσης θ_{Δ} , ισχύει το εξής:

$$E_{tot} = \frac{E_o * d_o}{d'} * \cos\left(\omega_c * \left(t - \frac{d'}{c}\right)\right) - \frac{E_o * d_o}{d''} * \cos\left(\omega_c * \left(t - \frac{d''}{c}\right)\right) \quad (5.26)$$

$$E_{tot} = \frac{E_o * d_o}{d} * [\cos(\omega_c * t - \theta_1) - \cos(\omega_c * t - \theta_1 - \theta_{\Delta})] \quad (5.27)$$

$$E_{tot} = 2 * \frac{E_o * d_o}{d} * \sin\left(\omega_c * t - \theta_1 - \frac{\theta_{\Delta}}{2}\right) * \sin\left(\frac{\theta_{\Delta}}{2}\right) \quad (5.28)$$

$$E_{tot} = 2 * \frac{E_o * d_o}{d} * \sin\left(\frac{\theta_{\Delta}}{2}\right) * \cos\left(\omega_c * t - \theta_1 - \frac{\theta_{\Delta}}{2} - \frac{\pi}{2}\right) \quad (5.29)$$

$$|E_{tot}| = 2 * \frac{E_o * d_o}{d} * \sin\left(\frac{\theta_{\Delta}}{2}\right) \quad (5.30)$$

Αν η διαφορά φάσης είναι μικρή, ισχύει ότι:

$$\theta_{\Delta} (d \gg h_t * h_r) \quad (5.31)$$

Έτσι, προκύπτει το εξής:

$$\sin\left(\frac{\theta_{\Delta}}{2}\right) \approx \frac{\theta_{\Delta}}{2} \quad (5.32)$$

Άρα, λόγω της σχέσης 5.32, η σχέση 5.30 διαμορφώνεται ως εξής:

$$|E_{\text{tot}}(d)| = 2 * \frac{E_o * d_o}{d} * \frac{4 * \pi * h_t * h_r}{2 * \lambda * d} \quad (5.33)$$

$$|E_{\text{tot}}(d)| = \frac{4 * \pi * E_o * d_o * h_t * h_r}{\lambda * d^2} \quad (5.34)$$

Για την ισχύ P_r , ισχύει ότι:

$$P_r = \frac{|E|^2}{120 * \pi} * A_e \quad (5.35)$$

Με E , δίνεται το προσπίπτον πεδίο και με A_e , η ενεργός επιφάνεια στην κεραία λήψης.

Έτσι, αποδεικνύεται τελικά, το εξής:

$$P_r(d) = P_t * G_t * G_r * \frac{h_t^2 * h_r^2}{d^4} \quad (5.36)$$

Η απώλεια διάδοσης στο μοντέλο δύο ακτινών, υπολογίζεται σε dB από τον ακόλουθο τύπο:

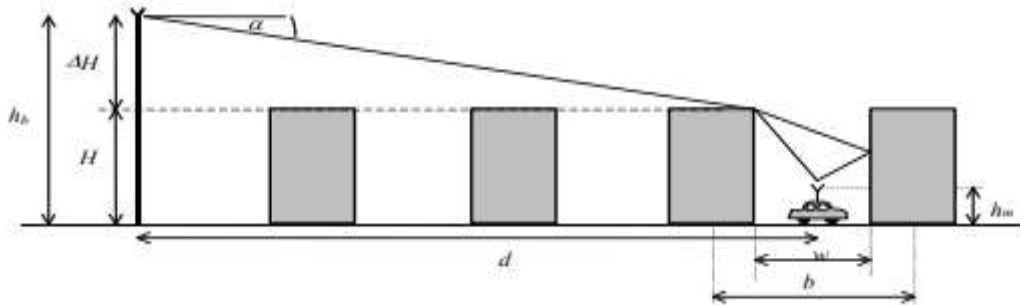
$$PL(d) = \frac{P_t}{P_r} \quad (5.37)$$

$$PL(d) = -10 * \log \frac{G_t * G_r * h_t^2 * h_r^2}{d^4} \quad (5.38)$$

5.4: Μοντέλο Walfisch και Bertoni

Το μοντέλο Walfisch και Bertoni, είναι ένα εμπειρικό μοντέλο και μελετάει τη διάδοση σε ένα αστικό περιβάλλον με περισσότερες λεπτομέρειες. Λαμβάνει υπόψη την ύπαρξη εμποδίων, κτηρίων και οροφών, και την πιθανότητα η διάδοση να εμποδίζεται λόγω αυτών των εμποδίων και να προκαλούνται φαινόμενα, όπως

περίθλαση. Υποθέτει πως τα κτήρια βρίσκονται περίπου σε ίσες αποστάσεις το ένα από το άλλο. Επομένως, μεταξύ των κεραίων του πομπού και του δέκτη, δεν υπάρχει οπτική επαφή. [87]



Εικόνα 5. 3: Μοντέλο Walfisch-Bertoni

Η συνολική απώλεια στο συγκεκριμένο μοντέλο, είναι το αποτέλεσμα του γινομένου τριών παραγόντων. Οι παράγοντες αυτοί είναι η απώλεια στον ελεύθερο χώρο, η μείωση των σημάτων στις οροφές λόγω των πολλών κτηρίων και η διάθλαση που συμβαίνει από τις οροφές στους δρόμους. Η σχέση που περιγράφει τη συνολική απώλεια, είναι η ακόλουθη:

$$S = P_0 * Q^2 * P_1 \quad (5.39)$$

Το P_0 εκφράζει την απώλεια στον ελεύθερο χώρο και περιγράφεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$P_0 = \left(\frac{\lambda}{4 * \pi * R} \right)^2 \quad (5.40)$$

Το Q^2 εκφράζει τη μείωση σήματος στις οροφές των κτηρίων και το P_1 , εκφράζει την περίθλαση που προκαλείται λόγω των πολλών κτηρίων. Η απώλεια S υπολογίζεται σε dB και εκφράζεται από την παρακάτω σχέση:

$$S = L_0 + L_{rts} + L_{ms} \quad (5.41)$$

Όπου L_0 είναι οι απώλειες στον ελεύθερο χώρο, L_{rts} είναι οι απωλειες στις οροφές των κτηρίων και L_{ms} είναι οι απώλειες λόγω της περίθλασης.

Το σήμα που λαμβάνει τελικά ο δέκτης, έχει περάσει από πολλά κτήρια μέσω πολλαπλών περιθλάσεων. Αρχικά, υπολογίζεται το σύνολο των εμποδίων περιθλάσης από όλα τα κτήρια, που βρίσκονται μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Στο τελευταίο κτήριο πριν τον δέκτη, το σύνολο αυτό που υπολογίστηκε, μπορεί είτε να υποστεί περιθλάση και να φτάσει απευθείας στον δέκτη, είτε να ανακλαστεί στο επόμενο κτήριο και ύστερα να φτάσει στο δέκτη. Η διαδικασία αυτή απεικονίζεται παραπάνω στην εικόνα 5.3. Οι απώλειες υπολογίζονται από την ακόλουθη σχέση:

$$L = 57,1 + A + 18 * \log d + \log f - 18 * \log H - 18 * \log \left(1 - \frac{d^2}{17 * H} \right) \quad (5.42)$$

Το A περιγράφει την επιρροή των κτηρίων και δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$A = 5 * \log \left[\left(\frac{b}{2} \right)^2 + (h_b - h_m)^2 \right] - 9 * \log b + 20 * \log \left\{ \tan^{-1} \left[\frac{2 * (h_b - h_m)}{b} \right] \right\} \quad (5.43)$$

Για τις σχέσεις 5.42 και 5.43, ισχύει ότι ο d είναι η απόσταση σε km, μεταξύ πομπού και δέκτη. Το f είναι η συχνότητα σε MHz, με εύρος 800 έως 2000 MHz. Το H είναι το μέση ύψος της κεραίας του πομπού. Το b είναι η απόσταση που υπάρχει μεταξύ των κτηρίων. Το h_b είναι το ύψος των κτηρίων και τέλος το h_m είναι το ύψος του δέκτη. [89]

5.5: Μοντέλο COST 231 – Walfisch – Ikegami

Το μοντέλο αυτό είναι ένας συνδυασμός των μοντέλων Walfisch – Bertoni και Ikegami και ενισχύεται από το COST 231. Είναι ένα ημι-ντετερμινιστικό μοντέλο καθώς ο υπολογισμός δεν γίνεται με χρήση της ακριβούς τοποθεσίας των κτηρίων και εφαρμόζεται σε μικρο – μακροκυψέλες. Οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψιν είναι τα ύψη των κτηρίων, τα πλάτη των δρόμων, η απόσταση που υπάρχει μεταξύ των κτηρίων και η κατεύθυνση των κτηρίων σε σχέση με τη διαδρομή μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Υπολογίζει τις απώλειες σε συνθήκες στις οποίες υπάρχει οπτική επαφή (LOS – Light of Sight) και σε συνθήκες, που δεν υπάρχει οπτική επαφή (NLOS – Non Light of Sight). [88]

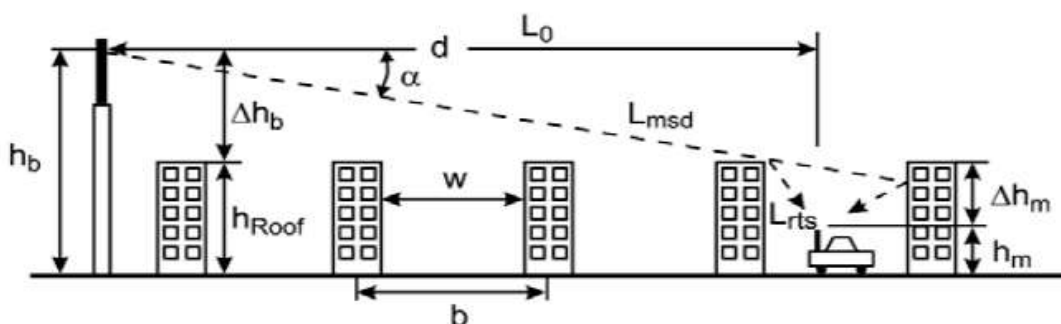
Σε περίπτωση LOS, ισχύει το εξής:

$$L(\text{dB}) = 42,6 + 26 * \log d + 20 * \log f_c \quad (5.44)$$

Σε περίπτωση NLOS αντίστοιχα, ισχύει το εξής:

$$L(\text{dB}) = L_0 + L_{\text{rts}} + L_{\text{msd}}, \quad L_{\text{rts}} + L_{\text{msd}} \geq 0 \quad (5.45)$$

$$L(\text{dB}) = L_0, \quad L_{\text{rts}} + L_{\text{msd}} \leq 0 \quad (5.46)$$



Εικόνα 5. 4: COST 231 - Walfisch – Ikegami

Το L_0 είναι η απώλεια λόγω ελεύθερου χώρου. Το L_{rts} είναι η απώλεια λόγω των περιθλάσεων από τις οροφές στο δρόμο και το L_{msd} είναι η απώλεια λόγω των περιθλάσεων από πολλαπλά εμπόδια. Για το L_{msd} ισχύει ότι:

$$L_{\text{msd}} = L_{\text{bsh}} + k_a + k_d * \log d + k_f * \log f_c - 9 * \log b \quad (5.47)$$

Όπου το b είναι η απόσταση μεταξύ των κτηρίων. Το L_{bsh} , k_a , k_d και k_f δίνονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$L_{\text{bsh}} = 18 * \log(1 + \Delta h_b), \quad h_b > h_{\text{roof}} \quad (5.48)$$

$$k_a = \begin{cases} 54, & h_b > h_{\text{roof}} \\ 54 - 0,8 * \Delta h_b, & d > 0,5 \text{ km και } h_b \leq h_{\text{roof}} \\ 54 - \frac{0,8 * \Delta h_b}{0,5}, & d < 0,5 \text{ km και } h_b = h_{\text{roof}} \end{cases} \quad (5.49)$$

$$k_d = \begin{cases} 18, & h_b > h_{\text{roof}} \\ 18 - 15 * \frac{\Delta h_b}{h_{\text{roof}}}, & h_b \leq h_{\text{roof}} \end{cases} \quad (5.50)$$

$$k_f = \begin{cases} 0,7 * \left(\frac{f_c}{925} - 1\right), & \text{για μικρές ή προαστιακές περιοχές} \\ 1,5 * \left(\frac{f_c}{925} - 1\right), & \text{για μητροπολιτικά κέντρα} \end{cases} \quad (5.51)$$

Από τη σχέση 5.45, το L_{rts} δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$L_{rts} = -16,9 - 10 * \log w + 10 * \log f_c + 20 * \log \Delta h_m + L_{ori} \quad (5.52)$$

Όπου w είναι το πλάτος του δρόμου.

$$L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0,354 * \varphi, & 0^\circ < \varphi < 35^\circ \\ 2,5 + 0,075 * (\varphi - 35), & 35^\circ < \varphi < 55^\circ \\ 4 - 0,114 * (\varphi - 55), & 55^\circ < \varphi < 90^\circ \end{cases} \quad (5.53)$$

Το μοντέλο αυτό παρέχει έγκυρα αποτελέσματα για τις ακόλουθες περιπτώσεις:

$$800 \text{ MHz} < f_c < 2000 \text{ MHz} \quad (5.54)$$

$$4 \text{ m} < h_b < 50 \text{ m} \quad (5.55)$$

$$1 \text{ m} < h_m < 3 \text{ m} \quad (5.56)$$

$$0,02 \text{ km} < d < 5 \text{ km} \quad (5.57)$$

5.6: Μοντέλο LEE

Το μοντέλο LEE αναπτύχθηκε μετά από δεδομένα που συλλέχθηκαν τη δεκαετία του 80, στα βορειο – ανατολικά των Ηνωμένων Πολιτειών. Το μοντέλο αυτό υποθέτει πως οι απώλειες εξαρτώνται από παράγοντες του εδάφους και παράγοντες τεχνητών κατασκευών. Είναι ένα εμπειρικό μοντέλο και ισχύει για αστικές και ημιαστικές περιοχές. Η συχνότητα της διάδοσης κυμαίνεται γύρω στα 900 MHz. Η λαμβανόμενη ισχύς, δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\mu_\Omega = 10 * \log \left[\mu_{\Omega_0} * \left(\frac{d_0}{d}\right)^\beta * \left(\frac{f_c}{f}\right)^n * a_0 \right] \quad (5.58)$$

Το μ_{Ω} είναι η λαμβανόμενη ισχύς και το μ_{Ω_0} είναι η ισχύς σε απόσταση ενός μέτρου. Το β είναι ο εκθέτης απώλειας διαδρομής και το a_0 είναι συντελεστής διόρθωσης και αλλάζει ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν. [88]

$$a_0 = a_1 * a_2 * a_3 * a_4 * a_5 \quad (5.59)$$

$$a_1 = \left(\frac{\text{ύψος κεραίας πομπού}}{30,48} \text{ m} \right)^2 \quad (5.60)$$

$$a_2 = \left(\frac{\text{ύψος κεραίας δέκτη}}{3} \text{ m} \right)^{\xi} \quad (5.61)$$

$$a_3 = \left(\frac{\text{ισχύς του πομπού}}{10} \text{ W} \right)^2 \quad (5.62)$$

$$a_4 = \frac{\text{κέρδος κεραίας πομπού}}{4} \quad (5.63)$$

$$a_5 = \text{κέρδος κεραίας δέκτη} \quad (5.64)$$

Τα n και ξ , καθορίζονται ως εξής:

$$n = \begin{cases} 2, & f_c < 450 \text{ MHz} \\ 3, & f_c > 450 \text{ MHz} \end{cases} \quad (5.65)$$

$$\xi = \begin{cases} 2, & h_m > 10 \text{ m} \\ 3, & h_m < 3 \text{ m} \end{cases} \quad (5.66)$$

Η απώλεια διαδρομής, η οποία είναι η διαφορά μεταξύ της ισχύος του πομπού και του δέκτη, δίνεται σε dBm από την παρακάτω σχέση:

$$L_p = P_b - \mu_{\Omega} \quad (5.67)$$

Στον ελεύθερο χώρο, η απώλεια διαδρομής ορίζεται ως εξής:

$$L_p = 85 + 20 * \log_{10} \left(\frac{r}{1,6} \right) + 10 * n * \log_{10} \left(\frac{f}{900} \right) - a_0 \quad (5.68)$$

Στην ανοιχτή περιοχή, η απώλεια διαδρομής ορίζεται ως εξής:

$$L_p = 89 + 43,5 * \log_{10} \left(\frac{r}{1,6} \right) + 10 * n * \log_{10} \left(\frac{f}{900} \right) - a_o \quad (5. 69)$$

Σε προαστιακή περιοχή, η απώλεια διαδρομής ορίζεται ως εξής:

$$L_p = 101,7 + 38,4 * \log_{10} \left(\frac{r}{1,6} \right) + 10 * n * \log_{10} \left(\frac{f}{900} \right) - a_o \quad (5. 70)$$

5.7: Μοντέλο Sakagami – Kuboi

Το μοντέλο αυτό βασίζεται σε μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε αστικές περιοχές στην Ιαπωνία. Είναι ένα εμπειρικό μοντέλο, το οποίο χρειάζεται περισσότερες πληροφορίες για την επίδραση των παραμέτρων στον υπολογισμό τη απώλειας. Η σχέση που δίνει την απώλεια, είναι η ακόλουθη:

$$L = 100 - 7,1 * \log_{10} w + 0,023 * \varphi + 1,4 * \log_{10} h_s + 6,1 * \log_{10} H_1 + 20 * \log_{10} f + e^{13 * (f - 3,23)} - \left(24,37 - 3,7 * \frac{H}{h_{b0}} \right)^2 * \log_{10} h_b + (43,42 - 3,1 * \log_{10} h_b) * \log_{10} d \quad (5. 71)$$

Το w είναι το πλάτος του δρόμου και το φ είναι η γωνία που σχηματίζεται από το προσπίπτον κύμα πάνω στον άξονα του δρόμου. Το h_s περιγράφει το ύψος των κτηρίων, το h_b περιγράφει το ύψος της κεραίας του πομπού ως προς το δέκτη και το h_{b0} περιγράφει το ύψος της κεραίας του πομπού από το έδαφος. Το H_1 είναι το μέσο ύψος των κτηρίων και το H είναι το μέσο ύψος των κτηρίων κοντά στον πομπό. Τέλος, το f δίνει τη συχνότητα σε MHz και το d , την απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη, σε m. [89]

Το μοντέλο αυτό, παρέχει έγκυρα αποτελέσματα για τις ακόλουθες περιπτώσεις:

$$5 \text{ m} < w < 50 \text{ m} \quad (5. 72)$$

$$0^\circ < \varphi < 90^\circ \quad (5. 73)$$

$$5 \text{ m} < h_s < 80 \text{ m} \quad (5. 74)$$

$$20 \text{ m} < h_b < 100 \text{ m} \quad (5. 75)$$

$$5 \text{ m} < H_1 < 50 \text{ m} \quad (5. 76)$$

$$h_{b0} \geq H \quad (5.77)$$

$$0,5 \text{ km} < d < 10 \text{ km} \quad (5.78)$$

$$450 \text{ MHz} < f < 2200 \text{ MHz} \quad (5.79)$$

5.8: Μοντέλο Ibrahim και Parsons

Το μοντέλο αυτό αναπτύχθηκε από ανάλυση δεδομένων που συλλέχθηκαν στο Λονδίνο, όπου η κεραία του πομπού βρισκόταν 46 m πάνω από το έδαφος. Οι συχνότητες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 168, 445 και 896 MHz. Υπήρξαν δύο τρόποι προσέγγισης για το μοντέλο αυτό. Ο πρώτος ήταν να παραχθεί για την απώλεια διαδρομής μία εμπειρική έκφραση. Ο δεύτερος ήταν να βρεθεί αρχικά μια θεωρητική έκφραση για την επιφάνεια της γης και στη συνέχεια να βρεθούν οι παράμετροι που επηρεάζουν την απώλεια διαδρομής. Δύο παράγοντες που ορίζονται είναι οι U και F. Το U περιγράφει το ποσοστό των κτηρίων με 4 ή παραπάνω ορόφους και το F, περιγράφει το ποσοστό που τα κτήρια καλύπτουν το περιβάλλον. Η σχέση που δίνει την απώλεια, είναι η ακόλουθη:

$$L = -20 * \log(0,7 * h_b) - 8 * \log h_m + \frac{f}{40} + 26 * \log \frac{f}{40} - 86 * \log \left(\frac{f+100}{156} \right) + \left[40 + 14,15 * \log \left(\frac{f+100}{156} \right) \right] * \log d + 0,265 * L - 0,37 * H + K \quad (5.80)$$

Για τον παράγοντα K, ισχύει ότι:

$$K = \begin{cases} 0,087 * U - 5,5, & \text{για αστικές περιοχές} \\ 0, & \text{αλλού} \end{cases} \quad (5.81)$$

Το H είναι η διαφορά μεταξύ της περιοχής που βρίσκεται ο πομπός και της περιοχής που βρίσκεται ο δέκτης. Το h_b είναι το ύψος του πομπού και h_m , το ύψος του δέκτη. Τέλος, το f δίνει τη συχνότητα σε MHz και το d, την απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη, σε m.

Η δεύτερη σχέση που δίνεται παρακάτω, είναι ένα ημι-εμπειρικό μοντέλο και υποθέτει, πως η απώλεια διαδρομής εξαρτάται από τη θεωρητική απώλεια του επιπέδου της γης και ενός παράγοντα διόρθωσης, β , [91]. Η σχέση είναι η ακόλουθη:

$$L = 40 * \log d - 20 * \log(h_t * h_r) + \beta \quad (5. 82)$$

Για το β , ισχύει το εξής:

$$\beta = 20 + \frac{f}{40} + 0,18 * L - 0,34 * H + K \quad (5. 83)$$

Για το K τώρα, ισχύει το εξής:

$$K = \begin{cases} 0,094 * U - 5,9, & \text{για αστικές περιοχές} \\ 0, & \text{αλλού} \end{cases} \quad (5. 84)$$

5.9: Μοντέλο Allsebrook

Το μοντέλο αυτό είναι ένα εμπειρικό μοντέλο και προέκυψε από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε Βρετανικές πόλεις, για εύρος συχνοτήτων 75 έως 450 MHz. Σε δύο Βρετανικές πόλεις, τις Birmingham και Bath, τα χαρακτηριστικά του εδάφους ήταν αμελητέα. Αντίθετα, στην πόλη Bradford εντοπίστηκαν διάφορα χαρακτηριστικά στο έδαφος και θεωρήθηκε λοφώδης.

Για επίπεδες πόλεις, χωρίς ιδιαίτερα χαρακτηριστικά εδάφους, η απώλεια δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$L = L_p + L_B + \gamma \quad (5. 85)$$

Το L_p περιγράφει τις απώλειες του επιπέδου εδάφους της γης. Το L_B περιγράφει την απώλεια λόγω περίθλασης εξαιτίας των κτηρίων. Τέλος, το γ είναι ένας παράγοντας διόρθωσης, που χρησιμοποιείται όταν $f > 200$ MHz.

Για λοφώδεις πόλεις, οι οποίες εμφανίζουν χαρακτηριστικά στο έδαφος, πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν οι απώλειες που προκαλούνται λόγω εμποδίων, όπως βουνών ή λόφων και οι απώλειες λόγω περίθλασης. Έτσι, η απώλεια διαδρομής σε αυτή την περίπτωση δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$L = L_F + \left[(L_p - L_F)^2 + L_D^2 \right]^{1/2} + L_B + \gamma \quad (5.86)$$

Το L_F περιγράφει τις απώλειες στον ελεύθερο χώρο. Το L_D περιγράφει τις απώλειες λόγω του εδάφους. Τέλος, για το L_B δίνεται η παρακάτω σχέση:

$$L_B = 10 * \log \left[\frac{(h_0 - h_r) * \sqrt{2 * \sin \phi}}{548 * \sqrt{w * f}} \right] \quad (5.87)$$

Το h_r είναι το ύψος του δέκτη, το h_0 είναι το μέσο ύψος των κτηρίων και το w , είναι το πλάτος του δρόμου. [91]

5.10: Μοντέλο Egli

Το μοντέλο Egli είναι ένα μοντέλο εξωτερικού χώρου και αναπτύχθηκε, γιατί ο Egli ανακάλυψε στο μοντέλο της επίπεδης επιφάνειας, μία επιπρόσθετη απώλεια η οποία εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους και τη συχνότητα. Η ανακάλυψη αυτή προέκυψε, καθώς σε συχνότητες 90 έως 1000 MHz, ο Egli παρατήρησε ότι σε μικρή περιοχή, η μέση ισχύς του σήματος είναι αντιστρόφως ανάλογη της τέταρτης δύναμης. Για να υπολογιστεί αυτή η απώλεια, ο Egli πρόσθεσε στη σχέση της επίπεδης επιφάνειας, έναν πολλαπλασιαστικό παράγοντα, τον β . Η τιμή του παράγοντα β , είναι συνάρτηση της ανωμαλίας του εδάφους και προκύπτει εμπειρικά. Στο μοντέλο αυτό, δεν υπολογίζονται οι απώλειες περίθλασης. Η σχέση που δίνει την απώλεια είναι η ακόλουθη:

$$L = G_t * G_r * \left(\frac{h_t * h_r}{d^2} \right)^2 * \beta \quad (5.88)$$

Ο παράγοντας β , δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\beta = \left(\frac{40}{f} \right)^2 \quad (5.89)$$

Από τη σχέση 5.87 φαίνεται πως τα 40 MHz, είναι η συχνότητα αναφοράς στην οποία η μέση απώλεια διαδρομής, ανεξάρτητα από οποιοσδήποτε αλλαγές στη μορφή του εδάφους, μειώνεται σε σχέση με την τιμή του επιπέδου της γης. [91]

5.11: Μοντέλο Mc Geehan και Griffith

Το μοντέλο Mc Geehan και Griffith είναι ένα εμπειρικό μοντέλο που προέκυψε από την εξίσωση του μοντέλου της επίπεδης επιφάνειας. Στο μοντέλο αυτό, παρουσιάζεται ο παράγοντας A, ο οποίος δίνεται εμπειρικά από τον ακόλουθο τύπο:

$$A(\text{dB}) = A^* - 30 * \log f \quad (5.90)$$

Το A^* εξαρτάται από το περιβάλλον και ορίζεται ως εξής:

$$45 \pm 5 \text{ dB}, \text{ για παλιότερες πόλεις με στενούς δρόμους} \quad (5.91)$$

$$55 \pm 5 \text{ dB}, \text{ για μοντέρνες πόλεις με μακρείς δρόμους} \quad (5.92)$$

$$65 \pm 5 \text{ dB}, \text{ για ημιαστικές, αγροτικές περιοχές} \quad (5.93)$$

$$75 \pm 5 \text{ dB}, \text{ για ανοιχτές περιοχές} \quad (5.94)$$

Η λαμβανόμενη ισχύς, δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$P_R = \{P_T * 10 * \log G_b + 10 * \log G_m + 20 * \log(h_b * h_m) - 30 * \log f - 120\} + A^* - 40 * \log d \quad (5.95)$$

Το h_b είναι το ύψος του πομπού και το h_m είναι το ύψος του δέκτη. Το f δίνει τη συχνότητα σε MHz και το d , την απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη, σε m. [91]

5.12: Μοντέλο Atefi και Parsons

Το μοντέλο Atefi και Parsons είναι ένα εμπειρικό μοντέλο και προέκυψε από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στα 900 MHz, στο Λονδίνο. Η απώλεια διάδρομής, δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$L = 82 + 26,16 * \log f + 38 * \log d - 21,8 * \log h_b - 0,15 * \log h_m + L_D \quad (5.96)$$

Το h_b είναι το ύψος του πομπού και το h_m είναι το ύψος του δέκτη. Το f δίνει τη συχνότητα σε MHz και το d , την απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη, σε m. Τέλος, το L_D δίνει τις απώλειες περίθλασης. [91]

5.13: Μοντέλο Keenan – Motley

Το μοντέλο αυτό είναι ένα ημι – εμπειρικό μοντέλο και σε αντίθεση με τα προηγούμενα μοντέλα, χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της διάδοσης και της απώλειας ραδιοκυμάτων σε εσωτερικούς χώρους. Μελετάται δηλαδή, η διάδοση από τον πομπό στο δέκτη, που γίνεται εντός των κτηρίων και οικιών. Η σχέση που δίνει τη απώλεια, είναι η ακόλουθη:

$$L = PL(d_0) + 10 * n * \log d + \sum_{i=1}^I k_{fi} * L_{fi} + \sum_{j=1}^J k_{wj} * L_{wj} \quad (5.97)$$

Το $PL(d_0)$ είναι η εξασθένιση στο ένα μέτρο, το n είναι ο συντελεστής απωλειών διάδοσης και το d , είναι η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Το L_{fi} είναι οι απώλειες λόγω των πατωμάτων τύπου i και το L_{wj} , είναι οι απώλειες που προκαλούνται από τους τοίχους τύπου j . Το k_{fi} δείχνει τον αριθμό των ορόφων που βρίσκονται μεταξύ του πομπού και του δέκτη και k_{wj} , δείχνει τον αριθμό των τοίχων που βρίσκονται μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Τέλος, το I δείχνει το πλήθος κατηγοριών των πατωμάτων και το J , δείχνει το πλήθος των κατηγοριών των τοίχων. [86][91]

5.14: Μοντέλο ERCEG

Το μοντέλο ERCEG προέκυψε από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν από την εταιρεία AT & T Wireless, σε συχνότητα 1.9 GHz. Χρησιμοποιείται για πρόβλεψη και υπολογισμό απωλειών σε περιβάλλοντα που διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες, την A, B και C. Η κατηγορία A αφορά περιοχές, ιδιαίτερα λοφώδεις και με έντονη παρουσία δέντρων. Στην κατηγορία αυτή προκύπτουν μεγάλες απώλειες διαδρομής. Η κατηγορία B, αφορά είτε λοφώδεις περιοχές με μικρή παρουσία δέντρων, είτε επίπεδες περιοχές

αλλά με μεγάλη παρουσία δέντρων. Οι απώλειες διαδρομής σε αυτή την κατηγορία, είναι μεσαίου βαθμού. Τέλος, η κατηγορία C αφορά επίπεδες περιοχές, με μικρή παρουσία δέντρων και οι απώλειες διαδρομής εδώ είναι μικρές, [91]. Μαθηματικά, η μέση τιμή των απωλειών, εκφράζεται ως εξής:

$$L_b(\text{dB}) = A + 10 * \gamma * \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + s \quad (5.98)$$

Για την εξίσωση αυτή, ισχύει ότι:

$$d > d_0 \quad (5.99)$$

$$A = 20 * \log_{10} \left(\frac{4 * \pi * d_0}{\lambda} \right) \quad (5.100)$$

$$\gamma = a - b * h_b + \frac{c}{h_b} \quad (5.101)$$

$$d_0 = 100 \text{ m} \quad (5.102)$$

$$10 \text{ m} < h_b < 80 \text{ m} \quad (5.103)$$

$$8,2 \text{ dB} < s < 10,6 \text{ dB} \quad (5.104)$$

Όπου d είναι η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη σε m. Το λ είναι το μήκος κύματος σε m. Το h_b είναι το ύψος της κεραίας του πομπού. Το s είναι παράμετρος του φαινομένου της σκίασης. Και τέλος τα a, b και c είναι παράμετροι που αφορούν την κάθε κατηγορία ξεχωριστά και ισχύει ότι:

	Κατηγορία A	Κατηγορία B	Κατηγορία C
a	4,6	4	3,6
b	0,0075	0,0065	0,005
c	12,6	17,1	20

Πίνακας 5. 1: Τιμές παραμέτρων a, b, c

Στο μοντέλο αυτό προστέθηκαν κάποιοι διορθωτικοί παράγοντες, ώστε να ισχύει για συχνότητες άνω των 2 GHz και το ύψος της κεραίας του δέκτη να είναι από 2 έως 10 m. Έτσι, η σχέση 5.98 διαμορφώνεται ως εξής:

$$L_b(\text{dB}) = A + 10 * \gamma * \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + s + \Delta L_{bf} + \Delta L_{bh} \quad (5. 105)$$

Το ΔL_{bf} είναι ο διορθωτικός παράγοντας συχνότητας και ισούται με:

$$\Delta L_{bf} = 6 * \log_{10} \frac{f}{2000} \quad (5. 106)$$

Το ΔL_{bh} είναι ο διορθωτικός παράγοντας ύψους κεραίας δέκτη και ισούται με:

$$\Delta L_{bf} = \begin{cases} -10,8 * \log_{10} \frac{h}{2}, & \text{για κατηγορία A και B} \\ -20 * \log_{10} \frac{h}{2}, & \text{για κατηγορία C} \end{cases} \quad (5. 107)$$

5.15: Μοντέλο Longley – Rice

Το μοντέλο Longley – Rice μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πλήρη και λεπτομερή περιγραφή του εδάφους ή για περιγραφή των μέσων χαρακτηριστικών του εδάφους για μία δεδομένη περιοχή. Οι εκτιμήσεις μεταβάλλονται ανάλογα με τον χρόνο και την τοποθεσία. Εφαρμόζεται στο ακόλουθο εύρος παραμέτρων:

$$20 < \text{Συχνότητα μετάδοσης(MHz)} < 20000 \quad (5. 108)$$

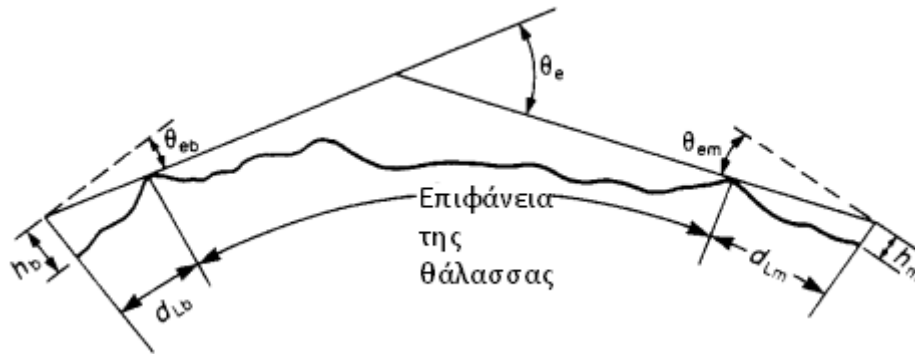
$$1 < \text{Εύρος (km)} < 2000 \quad (5. 109)$$

$$0,5 < \text{Ύψος κεραίων} < 3000 \quad (5. 110)$$

$$\text{Πόλωση: Κάθετη ή Οριζόντια} \quad (5. 111)$$

Πέντε επιπλέον είσοδοι που χρειάζονται στο συγκεκριμένο μοντέλο, είναι τα ύψη των κεραίων πάνω από το έδαφος, η διάθλαση της επιφάνειας, η ψευδής ακτίνα της γης, οι σταθερές γείωσης και το κλίμα. Παρέχονται επίσης, ορισμένοι παράγοντες διαδρομής που είναι απαραίτητοι για το μοντελο. Αυτοί είναι τα αποτελεσματικά ύψη των κεραίων, οι αποστάσεις του ορίζοντα των κεραίων (d_{Lb} και d_{Lm}), οι γωνίες ανύψωσης

του οριζοντα (θ_{eb} και θ_{em}), η γωνιακή απόσταση μίας διαδρομής (θ_e) και η παράμετρος ανώμαλου εδάφους (Δh).



Εικόνα 5. 5: Απεικόνιση των παραμέτρων

Σε έναν χάρτη απεικόνισης εδάφους, η πρόβλεψη της διαδρομής πραγματοποιείται ως λειτουργία από σημείο σε σημείο (point to point).

Η παράμετρος Δh σχετίζεται με μία άλλη παράμετρο, την Δh_d που αφορά το εύρος των υψών. Η τιμή του Δh_d αυξάνεται παράλληλα με το μήκος του εδάφους και εκφράζεται ως εξής:

$$\Delta h_d = \Delta h [1 - 0,8 * e^{-0,02 * d}] \quad (5. 112)$$

Το Δh μπορεί να πάρει τις ακόλουθες τιμές, ανάλογα τον τύπο του εδάφους. [91]

Τύπος εδάφους	Δh
Νερό ή ομαλές πεδιάδες	0 - 5
Πεδιάδες	30
Λόφοι	80 - 150
Βουνά	150 - 300
Ανώμαλα βουνά	300 - 700

Πίνακας 5. 2: Τιμές Δh

Η απόσταση μεταξύ των κεραιών, δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$d_L = d_{Lb} + d_{Lm} \quad (5.113)$$

Τα d_{Lb} και d_{Lm} , εκφράζονται ως εξής:

$$d_{Lb} = d_{LSb} * e^{\left(-0,07 * \sqrt{\frac{\Delta h}{h_e}}\right)} \quad (5.114)$$

$$d_{Lm} = d_{LSm} * e^{\left(-0,07 * \sqrt{\frac{\Delta h}{h_e}}\right)} \quad (5.115)$$

Το θ_e δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\theta_e = \theta_{eb} + \theta_{em} \quad (5.116)$$

Όπου, τα θ_{eb} και θ_{em} εκφράζονται με παρόμοιο τρόπο, ως εξής:

$$\theta_{eb} = \frac{0,0005}{d_{LSb}} * \left[1,3 * \left(\frac{d_{LSb}}{d_{Lb}} - 1 \right) * \Delta h - 4 * h_{eb} \right] \quad (5.117)$$

Στην ιδανική περίπτωση, που μεταξύ των κεραίων υπάρχουν δύο εμπόδια, υπολογίζεται η απώλεια λόγω διάθλασης δύο εμποδίων. Έτσι, για το πρώτο και το δεύτερο εμπόδιο, δίνονται οι παρακάτω εκφράσεις:

$$d_1 = \begin{cases} d_{Ls}, & d' \leq d_{Ls} \\ d_1', & d_1' > d_{Ls} \end{cases} \quad (5.118)$$

Όπου, τα d_1' και d_2 εκφράζονται σε χιλιόμετρα, ως εξής:

$$d_1' = d_L + 0,5 * \left(\frac{72.165.000}{f_c} \right)^{1/3} \quad (5.119)$$

$$d_2 = d_1 + \left(\frac{72.165.000}{f_c} \right)^{1/3} \quad (5.120)$$

Οι απώλειες λόγω περίθλασης των δύο εμποδίων, εκτιμώνται ως εξής:

$$A_1(\text{dB}) = A(u_{b,1}) + A(u_{m,1}) \quad (5.121)$$

$$A_2(\text{dB}) = A(u_{b,2}) + A(u_{m,2}) \quad (5.122)$$

Όπου, $u_{b,i}$ και $u_{m,i}$, εκφράζονται ως εξής:

$$u_{b,i} = 1,2915 * \theta_{ebi} * \left[\frac{f_c * d_{Lb} * (d_i - d_L)}{(d_i - d_{Lm})} \right]^{1/2} \quad (5.123)$$

$$u_{m,i} = 1,2915 * \theta_{emi} * \left[\frac{f_c * d_{Lm} * (d_i - d_L)}{(d_i - d_{Lb})} \right]^{1/2} \quad (5.124)$$

Τέλος, η απώλεια λόγω περίθλασης, μεταξύ ενός κινητού σταθμού και ενός σταθμού βάσης, εκφράζεται ως εξής:

$$L_d(\text{dB}) = d * m_d + A_0 \quad (5.125)$$

Όπου, ισχύει ότι:

$$m_d = \frac{A_1 - A_2}{d_2 - d_1} \quad (5.126)$$

$$A_0 = A_{fo} + A_2 - d_2 * m_d \quad (5.127)$$

Το A_{fo} είναι ένας εμπειρικός παράγοντας και δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$A_{fo}(\text{dB}) = \min(A_{fo}', 15) \quad (5.128)$$

Όπου, ισχύει ότι:

$$A_{fo}' = 5 * \log_{10} [1 + h_m * h_b * f_c * \sigma(d_{Ls}) * 10^{-5}] \quad (5.129)$$

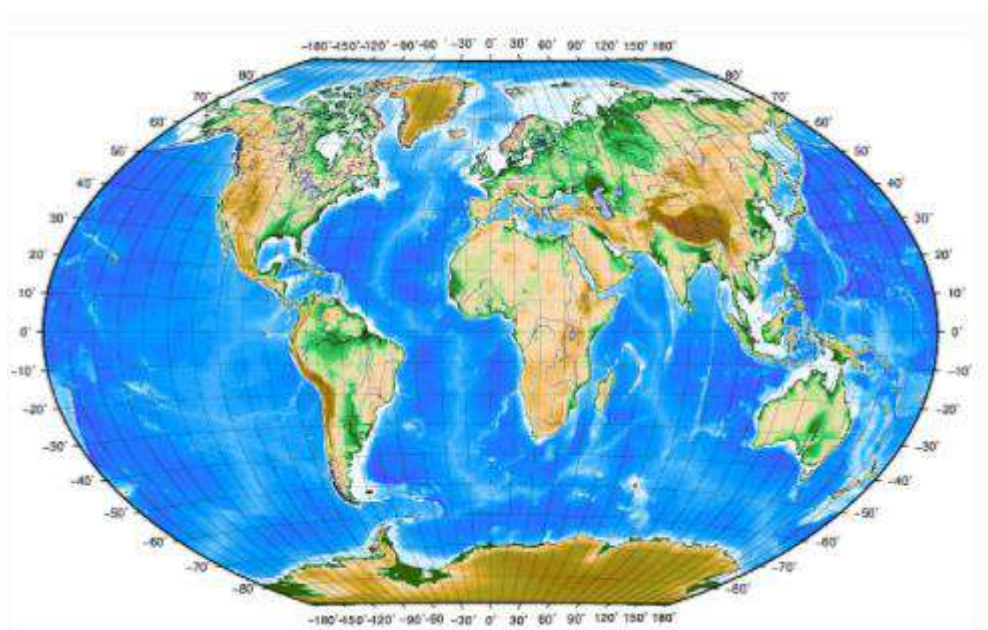
Το $\sigma(d_{Ls})$ δίνεται σε μέτρα και εκφράζεται ως εξής:

$$\sigma(d_{Ls}) = 0,78 * h(d) * e^{-0,5 * [\Delta h(d)]^{1/4}} \quad (5.130)$$

Κεφάλαιο 6: Γεωγραφικό σύστημα συντεταγμένων

6.1: Περιγραφή

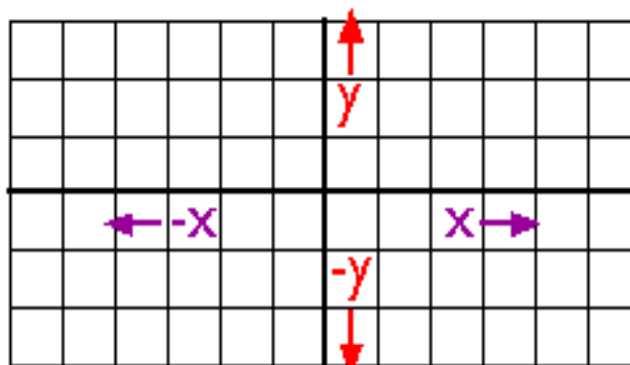
Με τον όρο γεωγραφικό σύστημα συντεταγμένων, περιγράφεται ένα σύστημα το οποίο με τη χρήση μίας τρισδιάστατης σφαιρικής επιφάνειας, μπορεί να περιγράψει και να καθορίσει τις θέσεις πάνω στη γη. Οποιαδήποτε τοποθεσία πάνω στην επιφάνεια της γης, μπορεί να προσδιοριστεί από ένα σύνολο δύο ή περισσότερων αριθμών, που ονομάζονται συντεταγμένες. Οι συντεταγμένες αποτελούνται από τις τιμές του γεωγραφικού πλάτους και μήκους και μετρώνται σε μοίρες, λεπτά και δευτερόλεπτα. Το σύστημα αυτό μπορεί να απεικονιστεί από ένα πλέγμα, το οποίο αποτελείται από νοητές παράλληλες, κάθετες και οριζόντιες γραμμές, πάνω στη γη. Οι γραμμές αυτές ξεκινάνε από τον βόρειο και τον νότιο πόλο και πάνω σε αυτά τα δύο σημεία, στηρίζεται το πλέγμα. [93][98]



Εικόνα 6. 1: Γεωγραφικό σύστημα συντεταγμένων

Ένα δεύτερο απλό σύστημα που χρησιμοποιείται, είναι το καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Αυτό πήρε το όνομα του από έναν μαθηματικό και φιλόσοφο, τον Rene Descartes. Αποτελείται και αυτό από ένα πλέγμα, με δύο βασικές, κάθετες μεταξύ τους ευθείες, τις x και y . Η οριζόντια ευθεία είναι η x και τα σημεία πάνω της, ονομάζονται τετμημένες. Έτσι, η κάθετη ευθεία είναι η y και τα σημεία που βρίσκονται

πάνω της αντίστοιχα, ονομάζονται τεταγμένες. Όλες οι θέσεις καθορίζονται σε σχέση με τη θέση, της οποίας οι τιμές των x και y είναι ταυτόχρονα μηδέν. Ωστόσο, όσο εύχρηστα και απλά και αν είναι τα καρτεσιανά συστήματα, δεν αντιπροσωπεύουν απόλυτα τη σφαιρική επιφάνεια της γης και χρησιμοποιούνται κυρίως σε χάρτες. [93]

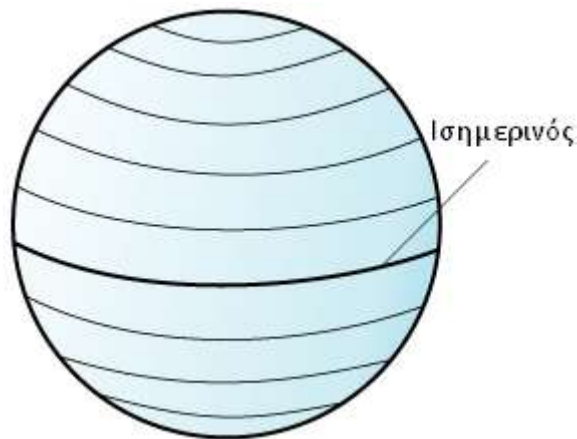


Εικόνα 6. 2: Καρτεσιανό σύστημα συντεταμένων

6.2: Γεωγραφικό πλάτος

Το γεωγραφικό πλάτος (latitude) αποτελεί μία από τις δύο γεωγραφικές συντεταγμένες, που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό μίας θέσης. Οι γραμμές γεωγραφικού πλάτους είναι οι οριζόντιες γραμμές πάνω στη γη, που κατευθύνονται ανατολικά και δυτικά. Σχηματίζουν ομόκεντρους κύκλους γύρω από τη γη και κινούνται παράλληλα με τον Ισημερινό. Για τον λόγο αυτό, οι γραμμές γεωγραφικού πλάτους ονομάζονται και παράλληλοι. Ο Ισημερινός αποτελεί τον μεγαλύτερο κύκλο και διαιρεί τη γη σε δύο ίσα μέρη, στο βόρειο και στο νότιο ημισφαίριο. Απέχει ίση απόσταση από τον Βόρειο και Νότιο Πόλο και η τιμή του είναι μηδενική.

Γενικά, οι γραμμές γεωγραφικού πλάτους χωρίζουν σε 180 τμήματα την γη και οι αποστάσεις μεταξύ των γραμμών είναι ίσες. Καθώς ο Ισημερινός βρίσκεται στη μέση, το κάθε ημισφαίριο αποτελείται από ενενήντα τμήματα. Το καθένα από αυτά τα τμήματα αποτελεί έναν βαθμό γεωγραφικού πλάτους. Οι βαθμοί γεωγραφικού πλάτους στο βόρειο ημισφαίριο, κυμαίνονται από μηδέν στον ισημερινό έως ενενήντα στον Βόρειο Πόλο (0 έως 90 μοίρες ή αλλιώς 90° N). Στο νότιο ημισφαίριο, οι βαθμοί γεωγραφικού πλάτους έχουν αρνητικές τιμες και κυμαίνονται αντίστοιχα, από μηδέν στον ισημερινό έως ενενήντα στον Νότιο Πόλο (0 έως -90 μοίρες ή αλλιώς 90° S). [92][94][95]



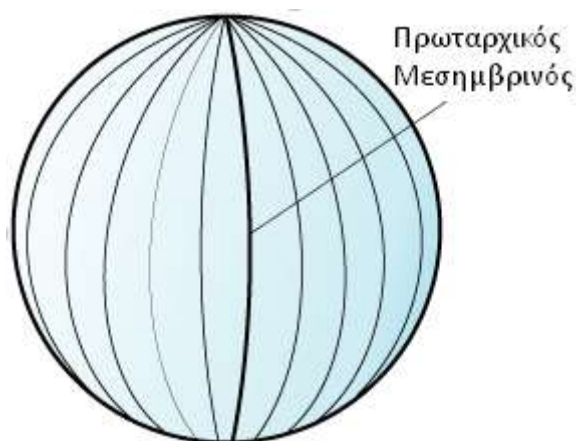
Εικόνα 6. 3: Γραμμές γεωγραφικού πλάτους

6.3: Γεωγραφικό μήκος

Το γεωγραφικό μήκος (longitude) αποτελεί την δεύτερη απο τις γεωγραφικές συντεταγμένες, που καθορίζουν μία θέση. Οι γραμμές γεωγραφικού μήκους είναι κάθετες γραμμές πάνω στη γη. Αυτό σημαίνει ότι είναι κάθετες προς τον Ισημερινό. Κατευθύνονται βόρεια και νότια και συγκλίνουν αντίστοιχα, στον Βόρειο και στον Νότιο Πόλο. Οι γραμμές γεωγραφικού μήκους ονομάζονται μεσημβρινοί και ο καθένας απο αυτούς αποτελεί έναν τόξο γεωγραφικού μήκους. Ο πρωταρχικός μεσημβρινός έχει μηδενική τιμή και εκτείνεται από τον Βόρειο Πόλο έως τον Νότιο Πόλο. Διέρχεται πάνω από το Βρετανικό Αστεροσκοπείο στο Γκρίνουιτς της Αγγλίας. Ωστόσο, παλιότερα πρωταρχικοί μεσημβρινοί, ήταν οι γεωγραφικές γραμμές μήκους που περνούσαν από τη Βέρνη, την Μπογκοτά και το Παρίσι.

Ο μεσημβρινός του Γκρίνουιτς χωρίζει την γη σε ανατολικό και δυτικό ημισφαίριο. Ανατολικά και δυτικά του πρωταρχικού μεσημβρινού, υπάρχουν 180 γεωγραφικές γραμμές μήκους αντίστοιχα. Οι βαθμοί γεωγραφικού μήκους στο ανατολικό ημισφαίριο, κυμαίνονται από μηδέν στον μεσημβρινό έως 180, όταν κατευθύνονται ανατολικά (0 έως 180 μοίρες ή αλλιώς 180° E). Στο δυτικό ημισφαίριο, οι βαθμοί γεωγραφικού μήκους έχουν αρνητικές τιμες και κυμαίνονται αντίστοιχα, από μηδέν στον μεσημβρινό έως 180, όταν κατευθύνονται δυτικά (0 έως -180 μοίρες ή αλλιώς 180° W). Για να μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια μία θέση πάνω στη γη, οι βαθμοί γεωγραφικού μήκους χωρίζονται σε λεπτά και δευτερόλεπτα. Σε ένα βαθμό υπάρχουν 60 λεπτά και σε κάθε λεπτό αντιστοιχούν 60 δευτερόλεπτα, άρα 3600 δευτερόλεπτα σε ένα βαθμό. Έτσι, για παράδειγμα το γεωγραφικό μήκος της

Βραζιλίας, είναι $47^{\circ} 55' W$, δηλαδή 47 μοίρες και 55 λεπτά δυτικά. Αντίστοιχα, το γεωγραφικό μήκος στο Παρίσι, είναι $2^{\circ} 29' E$, δηλαδή δύο μοίρες και 29 λεπτά ανατολικά. [92][94][95]



Εικόνα 6. 4: Γραμμές γεωγραφικού μήκους

6.4: Maidenhead Locator System

Το Maidenhead Locator System χρησιμοποιείται κυρίως από ερασιτέχνες χειριστές ραδιοφωνικών συστημάτων και αποτελεί ένα γεωγραφικό σύστημα συντεταγμένων. Το σύστημα αυτό είναι αρκετά συνοπτικό και ακριβές και μπορεί να προσδιορίσει τοποθεσίες σε όλο τον κόσμο. Ένα παρόμοιο σύστημα με το Maidenhead Locator System, υπήρξε το QRA το οποίο αναπτύχθηκε το 1959. Καθώς όμως, ήταν περιορισμένο στον καθορισμό τοποθεσιών, μόνο σε ευρωπαϊκές περιοχές, αργότερα καταργήθηκε. Έτσι, το 1980 σε ένα συνέδριο στο Maidenhead της Αγγλίας, προτάθηκε από τον Dr. John Morris το Maidenhead Locator System. Το συγκεκριμένο γεωγραφικό σύστημα, παίρνει τις τιμές του γεωγραφικού πλάτους και του γεωγραφικού μήκους και τις συμπιέζει σε μία σειρά χαρακτήρων. Αυτό σημαίνει ότι μία κωδικοποίηση μπορεί να χρησιμοποιήσει ζεύγη γραμμμάτων και ψηφίων και μπορεί να έχει την μορφή: BL11bh16. [96][97]

Στο πρώτο ζεύγος γραμμμάτων, που ονομάζεται πεδίο, ο πρώτος χαρακτήρας αντιπροσωπεύει το γεωγραφικό μήκος και ο δεύτερος χαρακτήρας, αντιπροσωπεύει το γεωγραφικό πλάτος. Για αυτό το ζεύγος χαρακτήρων, η βάση είναι 18 και χρησιμοποιεί ως αναγνωριστικά 'A' έως 'R'. Έτσι, ο κόσμος διαιρείται σε 18 ζώνες γεωγραφικού

πλάτους, που είναι 10 μοίρες η καθεμία και 18 ζώνες γεωγραφικού μήκους, που είναι 20 μοίρες η καθεμία. Άρα, διαιρείται σε 324 πεδία ($18^2 = 324$). Επειδή το σύστημα αυτό δεν χρησιμοποιεί αρνητικές τιμές, το γεωγραφικό πλάτος ξεκινά από τον Νότιο Πόλο στον πρωταρχικό μεσημβρινό. Στη συνέχεια, κατευθύνεται βόρεια και ανατολικά και καταλήγει στον πρωταρχικό μεσημβρινό στον Βόρειο Πόλο. [96][97]



Εικόνα 6. 5: Maidenhead Locator System

Για λόγους μεγαλύτερης ακρίβειας, αυτά τα 324 πεδία υποδιαιρούνται το καθένα από αυτά, σε 100 τετράγωνα. Τα τετράγωνα αυτά, αριθμούνται από το 00 έως το 99 και το καθένα από αυτά είναι 2 μοίρες του γεωγραφικού μήκους και 1 μοίρα του γεωγραφικού πλάτους.

09	19	28	39	49	59	69	79	89	99
08	18	28	38	48	58	68	78	88	98
07	17	27	37	47	57	67	77	87	97
06	16	26	36	46	56	66	76	86	96
05	15	25	35	45	55	65	75	85	95
04	14	24	34	44	54	64	74	84	94
03	13	23	33	43	53	63	73	83	93
02	12	22	32	42	52	62	72	82	92
01	11	21	31	41	51	61	71	81	91
00	10	20	30	40	50	60	70	80	90

Εικόνα 6. 6: Αρίθμηση των 100 τετραγώνων

Έτσι, το δεύτερο ζευγάρι ψηφίων από το BL11bh16, ονομάζεται τετράγωνο. Κωδικοποιείται με βάση τα ψηφία 0 έως 9, χρησιμοποιώντας έναν βασικό αριθμό 10. Στη συνέχεια, καθένα από αυτά τα τετράγωνα διαιρείται ξανά σε υπο – τετράγωνα. Κωδικοποιούνται σε δεύτερο ζεύγος γραμμάτων, που χρησιμοποιεί αναγνωριστικά ‘a’ έως ‘x’ και συνήθως εμφανίζεται με πεζά γράμματα. Εδώ ο βασικός αριθμός είναι το 24 και καθένα από αυτά τα τετράγωνα, έχει πλάτος 5 λεπτά και μήκος 2,5 λεπτά.

Μέχρι στιγμής, το Maidenhead Locator System έχει κωδικοποιήσει τρία ζεύγη χαρακτήρων, δύο γράμματα, δύο ψηφία και δύο πεζά γράμματα, που θα μπορούσαν να λειτουργήσουν αρκετά καλά. Ωστόσο, σε περίπτωση που ζητηθεί πρόσθετη ακρίβεια, τα υπο – τετράγωνα μπορούν να υποδιαιρεθούν σε ακόμα πιο μικρά υπο – τετράγωνα. Προσθέτουν ένα ακόμη ζεύγος ψηφίων από 0 έως 9, που ονομάζεται εκτεταμένο τετράγωνο και χρησιμοποιεί ως βασικό αριθμό το 10.



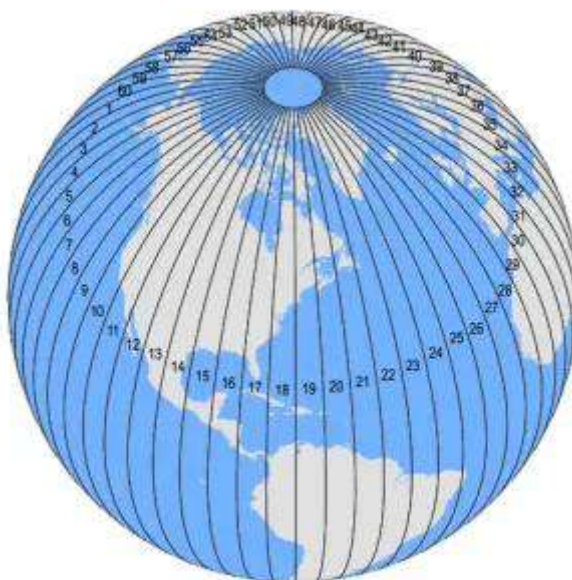
Εικόνα 6. 7: Διαίρεση σε υπο – τετράγωνα

Επομένως, συνοπτικά σε κάθε ζεύγος χαρακτήρων, κωδικοποιείται πρώτα το γεωγραφικό μήκος και ύστερα το γεωγραφικό πλάτος. Το πρώτο ζευγάρι ονομάζεται πεδίο και κωδικοποιεί τα γράμματα ‘A’ έως ‘R’, με βασικό αριθμό το 18. Το δεύτερο ζευγάρι ονομάζεται τετράγωνο και κωδικοποιεί τα ψηφία ‘0’ έως ‘9’, με βασικό αριθμό το 10. Το τρίτο ζευγάρι ονομάζεται υπο - τετράγωνο και κωδικοποιεί τα γράμματα ‘a’

εώς 'x', με βασικό αριθμό το 24. Τέλος, το τέταρτο ζευγάρι ονομάζεται εκτεταμένο τετράγωνο και κωδικοποιεί τα ψηφία '0' έως '9', με βασικό αριθμό το 10. [96][97]

6.5: Universal Transverse Mercator (UTM)

Το Universal Transverse Mercator είναι ένα γεωγραφικό σύστημα συντεταγμένων, που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό θέσεων σε όλη την επιφάνεια της γης και έχει την μορφή πλέγματος. Εξαιρέση αποτελούν οι πολικές περιοχές. Είναι ουσιαστικά, μία εφαρμογή ενός καρτεσιανού συστήματος συντεταγμένων και δεν αντιμετωπίζει το γεωγραφικό πλάτος και το γεωγραφικό μήκος, διαφορετικά απ' ότι κανονικά. Σύμφωνα με το συγκεκριμένο σύστημα, ο κόσμος διαιρείται σε 60 ίσες ζώνες, μεταξύ γεωγραφικού πλάτους 84° N και 80° S. Καθεμία από αυτές τις ζώνες, καλύπτει 6° γεωγραφικό μήκος. Αριθμούνται από το 1 έως το 60, από δυτικά προς ανατολικά. Για τον προσδιορισμό μίας θέσης, οπότε, χρησιμοποιείται ο καθορισμός της ζώνης, καθώς και των συντεταγμένων x και y.

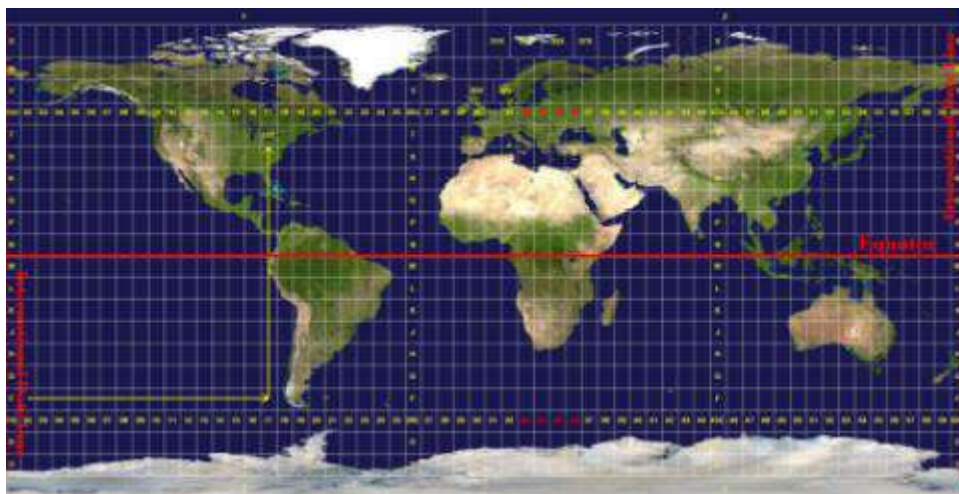


Εικόνα 6. 8: Διαίρεση της γη σε 60 ζώνες

Η πρώτη ζώνη καλύπτει 180° γεωγραφικό μήκος έως 174° W. Αντίστοιχα, η ζώνη 60 καλύπτει 174° γεωγραφικό μήκος έως 180° E. Γενικότερα, όσο μεγαλύτερη

είναι η έκταση μίας περιοχής, τόσο μεγαλύτερη παραμόρφωση της απόστασης παρουσιάζει. Οπότε, σε καθεμία από τις ζώνες εφαρμόζεται το σύστημα Universal Transverse Mercator. Έτσι, με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να χαρτογραφηθεί περιοχή με μεγάλη έκταση και παράλληλα να εμφανίζει χαμηλή παραμόρφωση. Συγκεκριμένα, σε κάθε ζώνη η παραμόρφωση παραμένει κάτω από 1 στα 1000, λόγω της χρήσης των στενών ζωνών και της μείωσης του συντελεστή κλίμακας στον πρωταρχικό μεσημβρινό κατά 0,004, δηλαδή σε 0,9996. Αντίθετα, η παραμόρφωση αυξάνεται κατά μήκος του ισημερινού, στα 1,0010. Επίσης, όσο τα όρια των ζωνών πλησιάζουν μεταξύ τους, τόσο η παραμόρφωση μπορεί να αυξηθεί σε κάθε ζώνη. Επομένως, το σύστημα Universal Transverse Mercator δεν είναι το πιο κατάλληλο σύστημα συντεταγμένων, όταν πρόκειται να χαρτογραφηθούν μεγάλες σε έκταση περιοχές, οι οποίες μπορεί να καλύπτουν παραπάνω από μία ζώνες.

Όπως αναφέρθηκε, οι πολικές περιοχές εξαιρούνται στο σύστημα συντεταγμένων UTM. Για τον λόγο αυτό, για την χαρτογράφηση των πολικών περιοχών, χρησιμοποιείται το σύστημα συντεταγμένων Universal Polar Stereographic (UPS), [101]. Λειτουργεί όπως και το σύστημα UTM, χρησιμοποιώντας ένα καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Συγκεκριμένα, οι περιοχές που καλύπτει είναι αυτές που δεν καλύπτονται από το UTM και είναι αυτές με γεωγραφικό πλάτος πάνω από 84° N και 80° S. Έτσι, τα συστήματα UTM και UPS χρησιμοποιούνται συνδυαστικά για τον προσδιορισμό μίας θέσης.



Εικόνα 6. 9: Ζώνες UTM

Καθεμία από τις ζώνες που περιγράφηκαν, χωρίζεται σε 20 ζώνες γεωγραφικού πλάτους. Οι ζώνες αυτές έχουν ύψος 8 μοίρες. Κωδικοποιεί γράμματα που ξεκινάνε από το 'C' σε πλάτος 80° S. Το αλφάβητο προχωράει και καταλήγει ως το γράμμα 'X', το οποίο αποτελεί την τελευταία ζώνη. Επεκτείνεται τέσσερις μοίρες παραπάνω, για να καλύψει και το πιο βόρειο τμήμα της γης και τελικά, φτάνει σε πλάτος 84° N. Από το αλφάβητο παραλείπονται τα γράμματα 'O' και 'I', καθώς έχουν μεγάλες ομοιότητες με τους αριθμούς μηδέν και ένα. Επιπλέον, υπάρχουν και οι ζώνες με ονομασίες 'A' και 'B', οι οποίες καλύπτουν ανατολικές και δυτικές πλευρές των περιοχών αντίστοιχα. Όπως υπάρχουν και οι ζώνες με ονομασίες 'Y' και 'Z', οι οποίες καλύπτουν τις περιοχές της Ανταρκτικής και της Αρκτικής αντίστοιχα. Γενικά, στο βόρειο ημισφαίριο το πρώτο γράμμα είναι το 'N'. Οπότε, τα γράμματα που αντιστοιχούν στο βόρειο ημισφαίριο, είναι αυτά από το 'N' και μετά. Με την ίδια λογική, τα γράμματα που αντιστοιχούν στο νότιο ημισφαίριο, είναι αυτά που έρχονται πριν το 'N'.

Οι ζώνες πλέγματος παίρνουν τις ονομασίες τους, συνδυάζοντας τον αριθμό της ζώνης, με τις ζώνες γεωγραφικού πλάτους. Αρχικά, γράφεται ο αριθμός της ζώνης και στη συνέχεια ακολουθεί η ζώνη γεωγραφικού πλάτους. Για παράδειγμα, θα δοθεί η ζώνη πλέγματος της περιοχής του Τορόντο στον Καναδά. Καθώς βρίσκεται στην ζώνη με αριθμό 17 και στην γεωγραφική ζώνη που αντιπροσωπεύεται από το γράμμα 'T', η ζώνη πλέγματος της περιοχής είναι η '17 T'. [99][100][102]

Για να προσδιοριστεί μία θέση πάνω στη γη, συνδυάζεται ο αριθμός της ζώνης UTM, με το ζεύγος συντεταγμένων ανατολής (X) και βορρά (Y). Η ανατολική τιμή ισούται με την απόσταση της ζώνης UTM, από τον πρωταρχικό μεσημερινό. Η τιμή βορρά ισούται με την απόσταση της θέσης, από τον ισημερινό. Το σύστημα UTM δεν χρησιμοποιεί αρνητικές τιμές. Για τον λόγο αυτό, για να αντιμετωπιστεί αυτό το θέμα, χρησιμοποιούνται ψεύτικες τιμές βορρά και ψεύτικες ανατολικές τιμές. Στο βόρειο ημισφαίριο, η μέτρηση των θέσεων ξεκινά από τον ησημερινό και πάνω. Ο ισημερινός έχει τιμή βορρά 0 και εκτείνεται στον 84ο παράλληλο, μέχρι περίπου 9.328.000 μέτρα. Στο νότιο ημισφαίριο οι τιμές κανονικά έχουν αρνητικές τιμές. Οπότε, προστίθεται μία ψεύτικη τιμή βορρά 10.000.000 μέτρα, στην τιμή βορρά Y. Με τον ίδιο τρόπο, προστίθεται και μία ψεύτικη ανατολική τιμή 500.000 μέτρα, στην ανατολική τιμή X. Για παράδειγμα, δίνεται η ζώνη UTM 35 S. Το μέρος αυτό βρίσκεται 3.550.000 μέτρα νότια του ισημερινού, οπότε παίρνει αρνητική τιμή, [98]. Άρα, προστίθεται σε αυτό η ψεύτικη τιμή βορρά και προκύπτει το εξής:

$$-3.550.000 + 10.000.000 = 6.450.000 \quad (6.1)$$

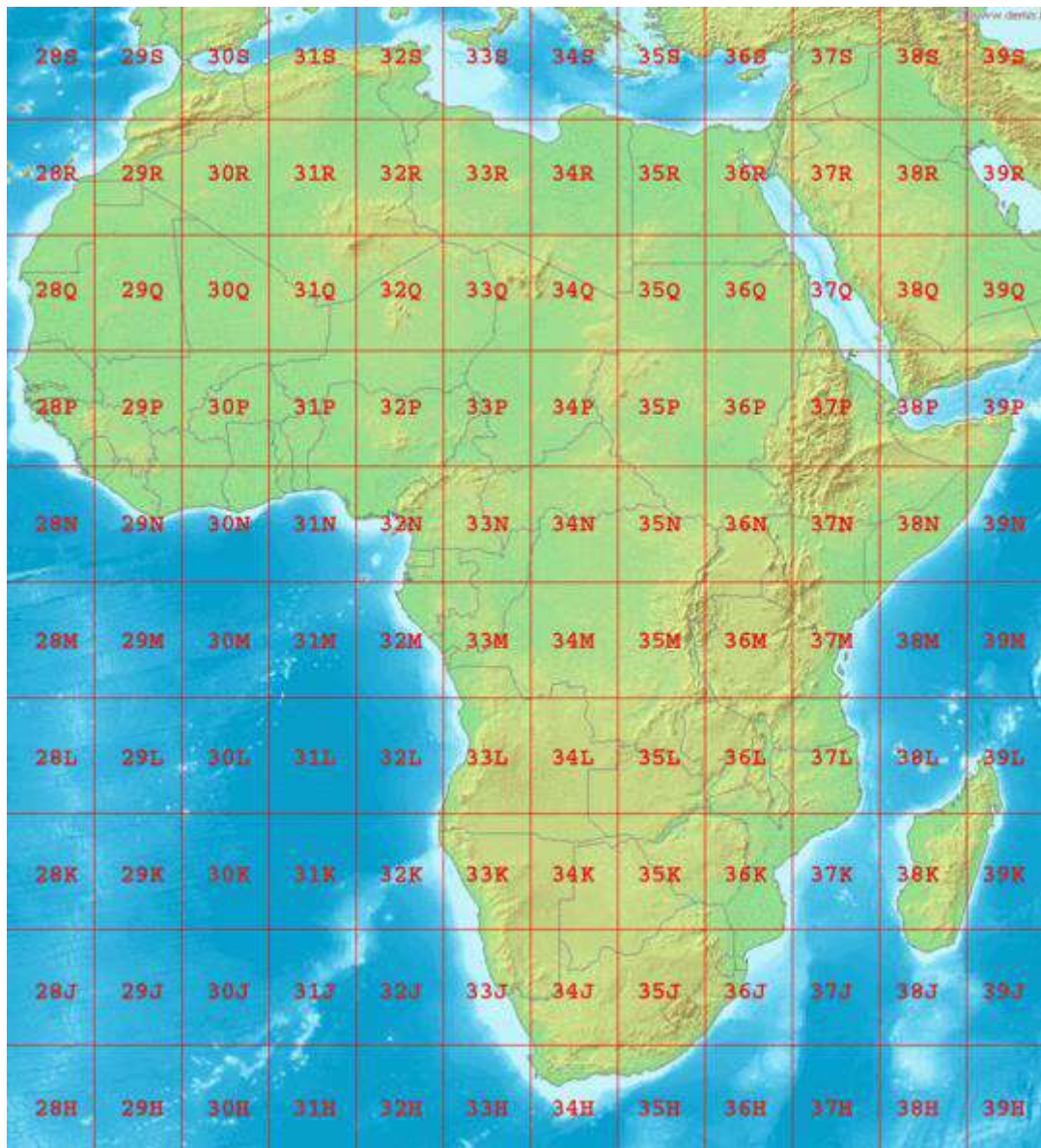
Έτσι, η τιμή βορρά της συντεταγμένης είναι 6.450.000 μέτρα. Με τον ίδιο τρόπο, βρίσκεται και η ψεύτικη ανατολική τιμή. Η θέση αυτή βρίσκεται 85.000 μέτρα δυτικά, οπότε παίρνει αρνητική τιμή. Επομένως, προστίθεται σε αυτό η ψεύτικη ανατολική τιμή και προκύπτει το εξής:

$$-85.000 + 500.000 = 415.000 \quad (6.2)$$

Έτσι, η ανατολική τιμή της συντεταγμένης είναι 415.000 μέτρα. [98]



Εικόνα 6. 10: Ζώνες πλέγματος Ευρώπης



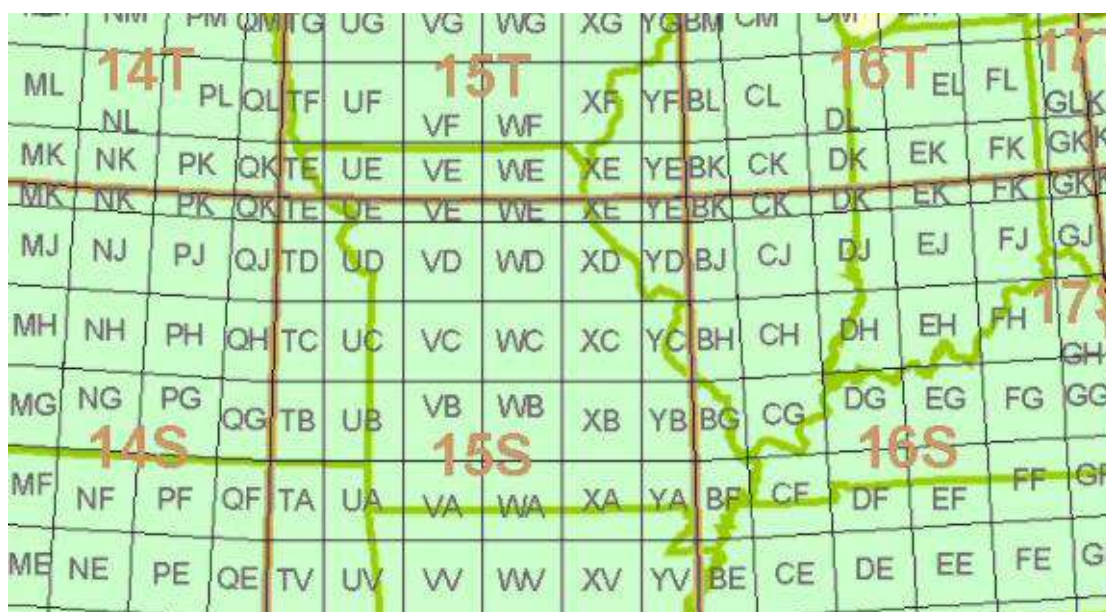
Εικόνα 6. 11: Ζώνες πλέγματος Αφρικής

6.6: Military Grid Reference System (MGRS)

Το Military Grid Reference System είναι ένα γεωγραφικό σύστημα συντεταγμένων, που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό θέσεων στην γη, από στρατιωτικούς του NATO. Βασίζεται στα συστήματα Universal Transverse Mercator (UTM) και Universal Polar Stereographic (UPS), οπότε χρησιμοποιεί τις 60 ζώνες του UTM. Στο σύστημα αυτό, κάθε τετράγωνο στις ζώνες γεωγραφικού πλάτους μπορεί να διαιρεθεί σε 100.000 μέτρα, σε 10.000 μέτρα, σε 1.000 μέτρα, σε 100 μέτρα, σε 10 μέτρα και σε 1 μέτρο, ανάλογα με την ακρίβεια που παρέχεται στις συντεταγμένες. Οι

συντεταγμένες έχουν την μορφή 4QFJ12345678. Αποτελείται από τρία μέρη, το 4Q, το FJ και το 12345678. [103][104]

Το πρώτο μέρος, το 4Q, στο σύστημα MGRS ονομάζεται προσδιοριστής ζώνης πλέγματος. Όπως έχει αναφερθεί, οι ζώνες UTM αριθμούνται από το 1 έως το 60 και καθεμία από αυτές τις ζώνες, καλύπτει 6° γεωγραφικό μήκος και έχουν ύψος 8°. Κωδικοποιεί γράμματα που ξεκινάνε από το 'C' σε πλάτος 80° S. Το αλφάβητο προχωράει και καταλήγει ως το γράμμα 'X', το οποίο αποτελεί την τελευταία ζώνη. Επεκτείνεται τέσσερις μοίρες παραπάνω, για να καλύψει και το πιο βόρειο τμήμα της γης και τελικά, φτάνει σε πλάτος 84° N. Η βορειότερη ζώνη έχει ύψος 12°. Από το αλφάβητο παραλείπονται τα γράμματα 'O' και 'I', καθώς έχουν μεγάλες ομοιότητες με τους αριθμούς μηδέν και ένα. Στο σύστημα αυτό, η τομή των ζωνών UTM, με τις ζώνες γεωγραφικού πλάτους, ονομάζεται ζώνη πλέγματος και είναι ένα πολύγωνο 6° x 8°. Ο προσδιοριστής ζώνης πλέγματος αποτελείται από τον αριθμό ζώνης, το οποίο ακολουθείται από το γράμμα που αντιπροσωπεύει την ζώνη γεωγραφικού πλάτους.



Εικόνα 6. 12: Προσδιοριστής ζώνης πλέγματος

Το δεύτερο μέρος της συντεταγμένης, το FJ, ονομάζεται τετραγωνική ταυτοποίηση των 100.000 μέτρων. Η τετραγωνική ταυτοποίηση αποτελείται από ένα γράμμα που περιγράφουν τις στήλες και ξεκινάνε από το A έως το Z. Παραλείπονται και εδώ τα γράμματα 'O' και 'I', καθώς έχουν μεγάλες ομοιότητες με τους αριθμούς μηδέν και ένα. Στη συνέχεια ακολουθούν τα γράμματα που περιγράφουν τις γραμμές

και ξεκινάνε από το A έως το V, με την ίδια παράλειψη των γραμμάτων ‘O’ και ‘I’. Έτσι, η στήλη της ζώνης 1 περιλαμβάνει τα γράμματα από το A έως το H. Η στήλη της ζώνης 2 περιλαμβάνει τα γράμματα από το J έως το R. Η στήλη της ζώνης 3 περιλαμβάνει τα γράμματα από το S έως το Z. Από την ζώνη 4 και μετά, η αρίθμηση ξεκινά ξανά από το A και συνεχίζεται με τον ίδιο τρόπο για όλο τον κόσμο. Για την αρίθμηση των γραμμών χρησιμοποιούνται δύο εναλλακτικά σχήματα, το AA και το AL. Στο σχήμα AA, η πρώτη γραμμή συμβολίζεται με A σε ζώνες με περιττούς αριθμούς και με F, σε ζώνες με άρτιους αριθμούς. Στο σχήμα AL, η πρώτη γραμμή συμβολίζεται με L σε ζώνες με περιττό αριθμό και με R, σε ζώνες με άρτιο αριθμό.

BM	CM	DM	EM	FM	GM
BL	CL	DL	EL	FL	GL
BK	CK	DK	EK	FK	GK
BJ	CJ	DJ	EJ	FJ	GJ
BH	CH	DH	EH	FH	GH
BG	CG	DG	EG	FG	GG
BF	CF	DF	EF	FF	GF
BE	CE	DE	EE	FE	GE
BD	CD	DD	ED	FD	GD

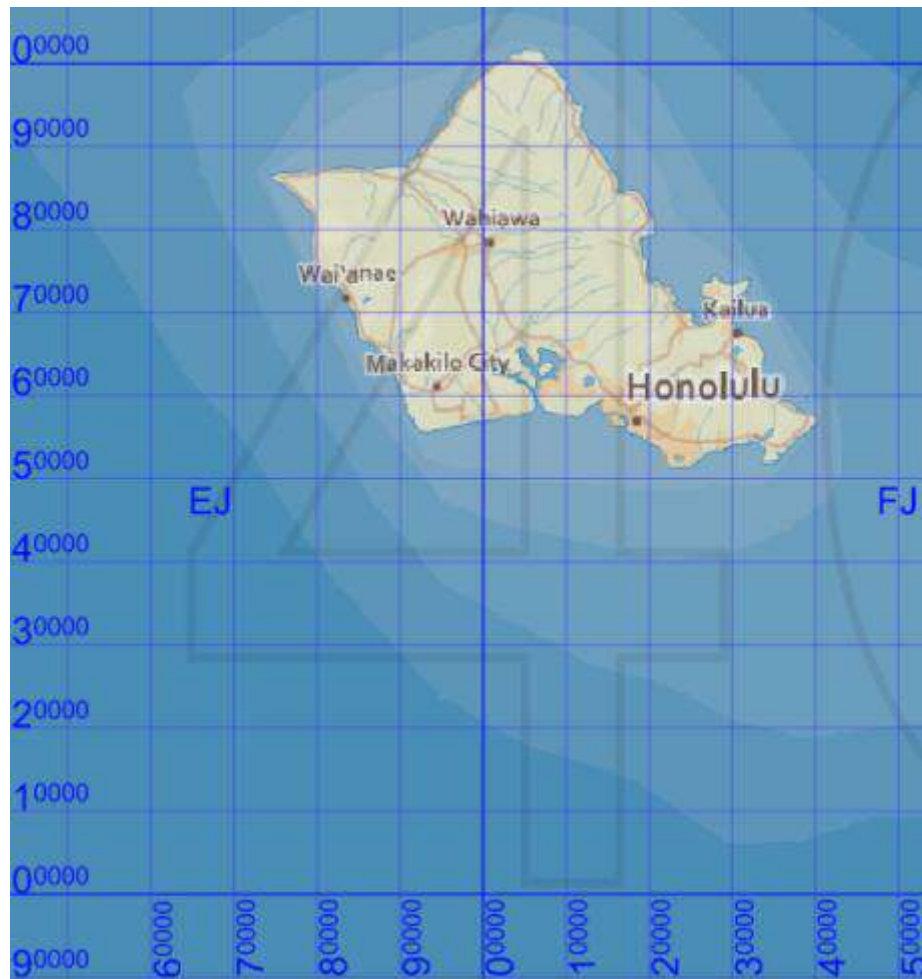
Εικόνα 6. 13: Τετραγωνική ταυτοποίηση

Σύμφωνα με το παράδειγμα που δόθηκε και όπως απεικονίζεται στην εικόνα 6.13, η Χονολουλού φαίνεται ότι βρίσκεται στο 4QFJ. [103][104]

Το τρίτο μέρος της συντεταγμένης, το 12345678, ονομάζεται αριθμητική θέση. Περιγράφεται από τον τύπο $n + n$ ψηφία, όπου το n μπορεί να πάρει τις τιμές 1, 2, 3, 4 ή 5. Εάν χρησιμοποιούνται $1 + 1$ ψηφία, τότε το πρώτο ψηφίο μετράει από την αριστερή

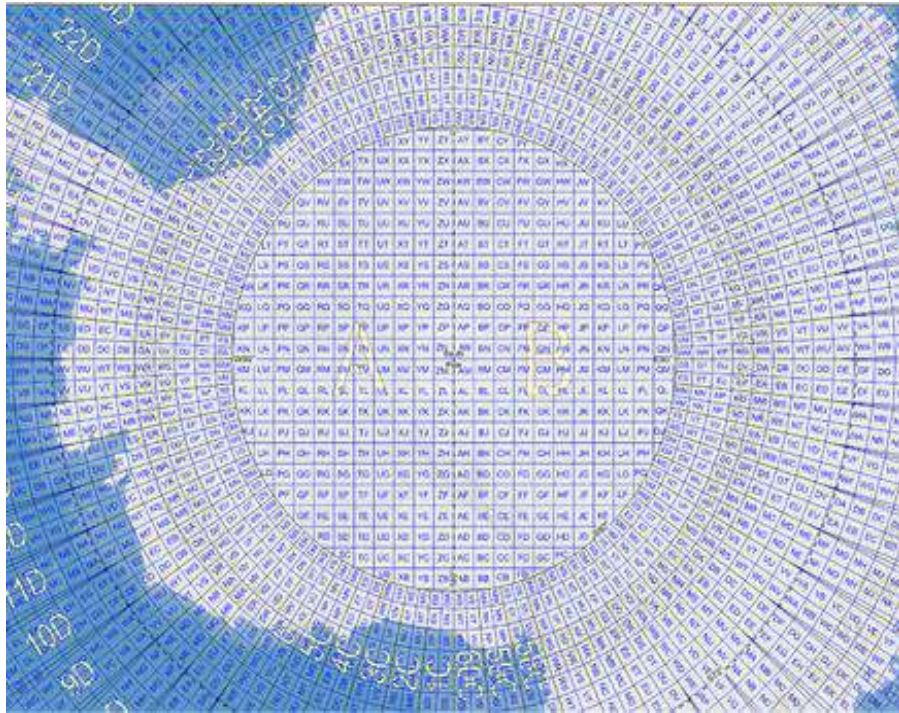
άκρη του τετραγώνου και δίνει την ανατολική τιμή σε μέτρα. Το τελευταίο ψηφίο μετράει από το κάτω άκρο του τετραγώνου και δίνει την τιμή του βορρά σε μέτρα. Στην περίπτωση αυτή, καθορίζει αποστάσεις έως 10.000 μέτρα. Εάν χρησιμοποιούνται 2 + 2 ψηφία, τότε τα δύο πρώτα ψηφία μετράνε από την αριστερή άκρη του τετραγώνου και δίνουν την ανατολική τιμή σε μέτρα. Το δύο τελευταία ψηφία μετράνε από το κάτω άκρο του τετραγώνου και δίνουν την τιμή του βορρά σε μέτρα. Στην περίπτωση αυτή, καθορίζει αποστάσεις έως 1.000 μέτρα. Εάν χρησιμοποιούνται 3 + 3 ψηφία, τότε τα τρία πρώτα ψηφία μετράνε από την αριστερή άκρη του τετραγώνου και δίνουν την ανατολική τιμή σε μέτρα. Το τρία τελευταία ψηφία μετράνε από το κάτω άκρο του τετραγώνου και δίνουν την τιμή του βορρά σε μέτρα. Στην περίπτωση αυτή, καθορίζει αποστάσεις έως 100 μέτρα. Εάν χρησιμοποιούνται 4 + 4 ψηφία, τότε τα τέσσερα πρώτα ψηφία μετράνε από την αριστερή άκρη του τετραγώνου και δίνουν την ανατολική τιμή σε μέτρα. Το τέσσερα τελευταία ψηφία μετράνε από το κάτω άκρο του τετραγώνου και δίνουν την τιμή του βορρά σε μέτρα. Στην περίπτωση αυτή, καθορίζει αποστάσεις έως 10 μέτρα. Τέλος, αν χρησιμοποιούνται 5 + 5 ψηφία, τότε τα πέντε πρώτα ψηφία μετράνε από την αριστερή άκρη του τετραγώνου και δίνουν την ανατολική τιμή σε μέτρα. Το πέντε τελευταία ψηφία μετράνε από το κάτω άκρο του τετραγώνου και δίνουν την τιμή του βορρά σε μέτρα. Στην περίπτωση αυτή, καθορίζει αποστάσεις έως 1 μέτρο. [103][104]

Έτσι, το παράδειγμα συντεταγμένης που δόθηκε, το 4QFJ12345678, μπορεί να αναλυθεί συνοπτικά, σύμφωνα με τα παραπάνω με τον ακόλουθο τρόπο. Το 4Q είναι ο προσδιοριστής ζώνης. Το 4Q FJ, είναι ο προσδιοριστής ζώνης και η τετραγωνική ταυτοποίηση των 100.000 μέτρων. Το 4Q FJ 1 6 έχει επίπεδο ακρίβειας 10.000 μέτρα. Το 4Q FJ 12 67 έχει επίπεδο ακρίβειας 1.000 μέτρα. Το 4Q FJ 123 678 έχει επίπεδο ακρίβειας 100 μέτρα. Το 4Q FJ 1234 6789 έχει επίπεδο ακρίβειας 10 μέτρα. Τέλος, Το 4Q FJ 12345 67890 έχει επίπεδο ακρίβειας 1 μέτρο. Με βάση την εικόνα 14, φαίνεται πως η Χονολουλού για επίπεδο ακρίβειας 10.000 μέτρων, βρίσκεται στο 4Q FJ 1 5. [103][104]



Εικόνα 6. 14: MGRS για Χονολουλού

Στις πολικές περιοχές, δηλαδή βόρεια από 84° N και νότια από 80° S όπως αναφέρθηκε, χρησιμοποιείται το σύστημα UPS. Στον Νότιο Πόλο, η ζώνη πλέγματος που σχηματίζεται στον δυτικό μισό κύκλο, προσδιορίζεται από τον χαρακτήρα A και η ζώνη πλέγματος που σχηματίζεται στον ανατολικό μισό κύκλο, προσδιορίζεται από τον χαρακτήρα B. Αντίστοιχα, στον Βόρειο Πόλο η ζώνη πλέγματος που σχηματίζεται στον δυτικό μισό κύκλο, προσδιορίζεται από τον χαρακτήρα Y και αυτή που σχηματίζεται στον ανατολικό μισό κύκλο, προσδιορίζεται από τον χαρακτήρα Z. Στις πολικές περιοχές, οι στήλες ξεκινάνε από το A έως το Z, παραλείπουν όμως τα γράμματα D, E, I, M, N, O, V και W. Ο λόγος που παραλείπονται αρκετά γράμματα, είναι για να εξασφαλιστεί ότι κανένα τετράγωνο UPS, δεν θα βρεθεί δίπλα με κάποιο τετράγωνο UTM, το οποίο θα έχει την ίδια ονομασία. Τέλος, τα γράμματα στις γραμμές ξεκινάνε από το A έως το Z, παραλείπουν όμως το I και το O. [103][104]



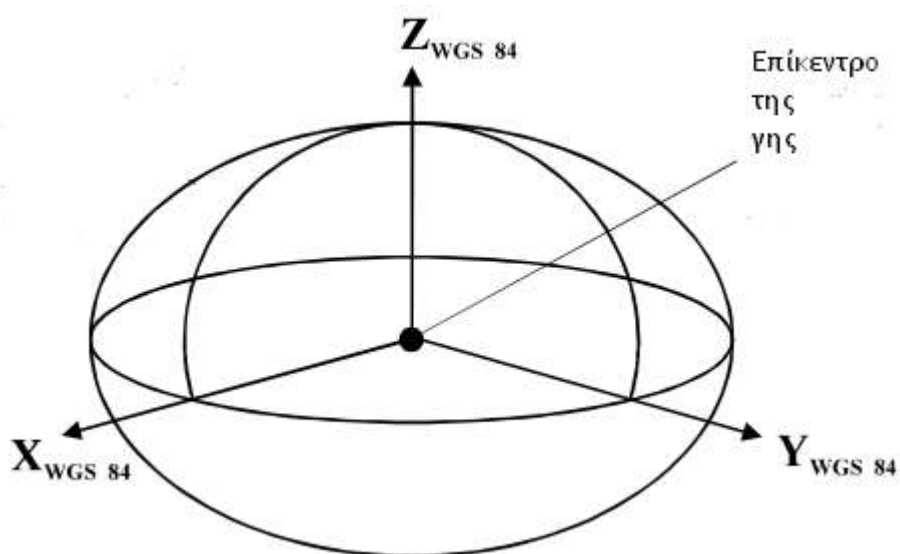
Εικόνα 6. 15: MGRS στον Νότιο Πόλο



Εικόνα 6. 16: MGRS στον Βόρειο Πόλο

6.7: World Geodetic System - 1984 (WGS 84)

Το WGS 84 είναι ένα τρισδιάστατο γεωγραφικό σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιείται για δορυφορική πλοήγηση, γεωδαισία και χαρτογραφία. Το σύστημα αυτό βασίζεται σε ένα σύνολο παραμέτρων και σταθερών. Το σύνολο των παραμέτρων περιγράφει το σχήμα, το μέγεθος, τα γεωμαγνητικά πεδία της γης, καθώς και τη βαρύτητα της γης. Το κέντρο μάζας της γης, χρησιμοποιείται για την προέλευση των συντεταγμένων. Οι άξονες στο σύστημα WGS 84 είναι οι x , y και z . Ως άξονας z , ορίζεται η κατεύθυνση του Conventional Terrestrial Pole (CTP), με βάση τις συντεταγμένες που υιοθετήθηκαν από τον σταθμό Bureau International de l'Heure (BIH). Ως άξονας x , ορίζεται το σημείο τομής του μεσημβρινού επιπέδου αναφοράς του συστήματος WGS 84 και του επιπέδου του ισημερινού του CTP. Ο μεσημβρινός αναφοράς είναι ο μηδενικός μεσημβρινός, με βάση τις συντεταγμένες που υιοθετήθηκαν από το BIH. Τέλος, με τον άξονα y ολοκληρώνεται ένα ορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων, με επίκεντρο τη γη και χαρακτηρίζεται ως Earth – Centered Earth – Fixed (ECEF). Βρίσκεται 90 μοίρες ανατολικά του άξονα x .



Εικόνα 6. 17: WGS 84

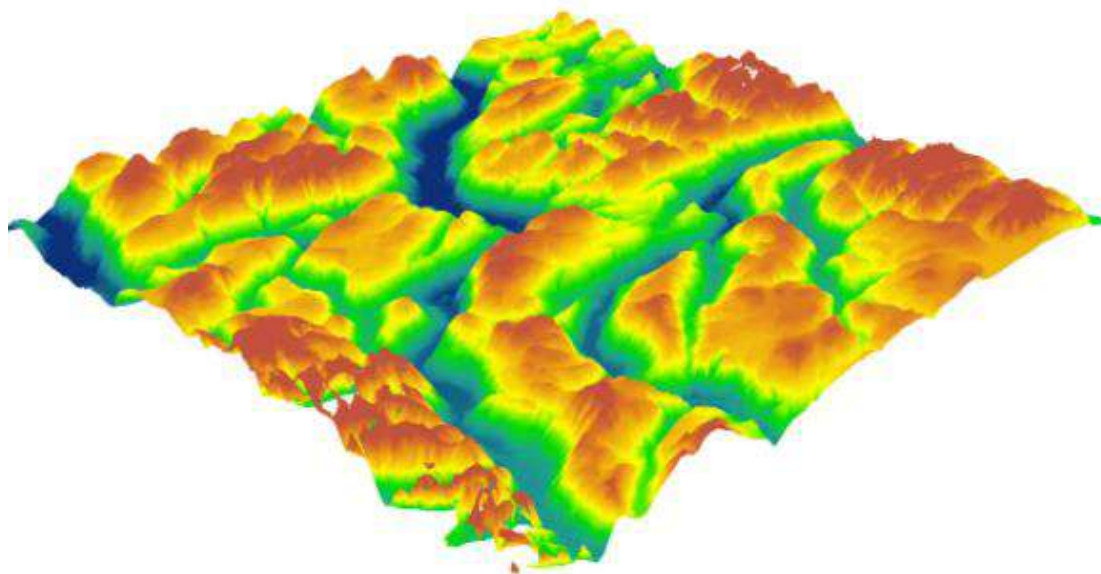
Το σύνολο παραμέτρων του συστήματος WGS 84, καθορίζει το σχήμα του ελλιпсоειδούς της γης και τη γωνιακή του ταχύτητα. Η πρώτη παράμετρος είναι η ισημερινή ακτίνα a , που ισούται με 6.986.137 μέτρα. Η δεύτερη παράμετρος είναι ο παράγοντας ισοπέδωσης της γης f , που ισούται με $1/298,257223563$. Στη συνέχεια, η

επόμενη παράμετρος είναι η γωνιακή ταχύτητα της γης ω , που είναι ίση με $7,292115 * 10^{-5} \text{ rad s}^{-1}$. Η επόμενη παράμετρος είναι η σταθερά βαρύτητας της γης GM , που ισούται με $3,986004418 * 10^{14} \text{ m}^3 / \text{s}^2$. Τέλος, είναι ο συντελεστής αρμονικής ζώνης δευτέρου βαθμού C_{20} , που είναι ίσος με $-484,16685 * 10^{-6}$. Επίσης, με διάφορους υπολογισμούς προκύπτουν και άλλες παράμετροι, όπως είναι ο πολικός άξονας b , που ισούται με $a(1 - f) = 6356752.3142$. Όπως επίσης, είναι και το τετράγωνο εκκεντρότητας e^2 , το οποίο είναι ίσο με $6,69437999014 * 10^{-3}$. [105][106][107]

Κεφάλαιο 7: Πρότυπα δεδομένων ανύψωσης

7.1: Ψηφιακά Μοντέλα Ανύψωσης (Digital Elevation Models)

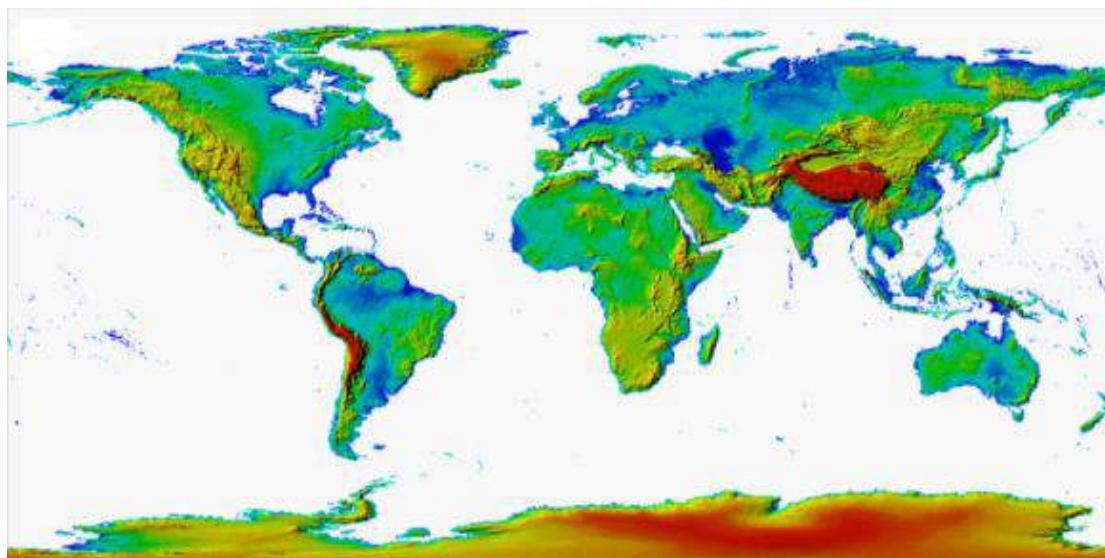
Το ψηφιακό μοντέλο ανύψωσης είναι μία τρισδιάστατη ψηφιακή αναπαράσταση δεδομένων ανύψωσης, που περιγράφουν το έδαφος της γης. Τα μοντέλα αυτά, χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της τοπογραφίας διάφορων περιοχών. Αποτελούνται από μία σειρά ταξινομημένων αριθμών που χαρακτηρίζουν την χωρική κατανομή των χαρακτηριστικών του εδάφους. Η χωρική κατανομή μπορεί να αντιπροσωπευτεί με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος, είναι με ένα σύστημα οριζόντιων συντεταγμένων x , y , στο οποίο η ανύψωση εδάδους z είναι το χαρακτηριστικό εδάφους που καταγράφεται. Ο δεύτερος τρόπος με τον οποίο μπορεί να αντιπροσωπευτεί, είναι με καθορισμό της θέσης σύμφωνα με το γεωγραφικό πλάτος και το γεωγραφικό μήκος, και την ανύψωση του εδάφους κατά h . Επιπλέον, τα μοντέλα ανύψωσης μπορεί να αναφέρονται και σε προβολή Universal Transverse Mercator (UTM). Τα κελιά πλέγματος ταξινομούνται από τον νότο προς τον βορρά και από δυτικά προς ανατολικά. [108][109]



Εικόνα 7. 1: Digital Elevation Model

Ένα ψηφιακό μοντέλο ανύψωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μοντελοποίηση πλημμύρων, γεωλογικές εφαρμογές, κατασκευές ψηφιακών χαρτών ή για παραγωγή χαρτών σκιασμένου ανάγλυφου. Ως εκ τούτου, το μοντέλα αυτά πέρα από την ανύψωση του εδάφους, συγκεντρώνουν και χαρακτηριστικά που αφορούν τον τύπο του

εδάφους, το βάθος του εδάφους, την αξία της γης ή την χρήση της γης. Για την απεικόνιση του εδάφους χρησιμοποιεί σκιάσεις και ψευδείς αποχρώσεις χρωμάτων. Για παράδειγμα, οι χαμηλές ανυψώσεις απεικονίζονται με πράσινο χρώμα, το πιο υψηλό υψόμετρο με λευκό χρώμα και οι σκιάσεις με κόκκινο χρώμα.



Εικόνα 7. 2: GTOPO30

Τα Digital Elevation Models προέκυψαν μετά από έρευνες του καθηγητή Miller και του συνεργάτη του Laflamme το 1958, στο Ινστιτούτο Τεχνολογίας στην Μασαχουσέτη. Δημιουργήθηκαν μετά από έρευνες που πραγματοποιήθηκαν στο έδαφος και με ψηφιοποίηση των ήδη υπαρχόντων χαρτών. Επίσης, υπάρχουν διάφοροι όροι με τους οποίους τα ψηφιακά μοντέλα μπορούν να αναφερθούν στην βιβλιογραφία, Αυτοί είναι DTM (Digital Terrain Model), DTD (Digital Terrain Data) και DTED (Digital Terrain Elevation Data). Τέλος, το 1996 δημιουργήθηκε ένα παγκόσμιο ψηφιακό μοντέλο ανύψωσης, το GTOPO30, με οριζόντια απόσταση πλέγματος 30 δευτερόλεπτα τόξου, δηλαδή περίπου ένα χιλιόμετρο. [110][111]

7.1.1: Digital Terrain Elevation Data (DTED)

Το Digital Terrain Elevation Data είναι ένα πρότυπο δεδομένων ανύψωσης και αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1970. Είναι ένα απλό και διαχωρισμένο πλέγμα αποτελούμενο από σημεία ανύψωσης. Αρχικά, σχεδιάστηκε για στρατιωτικές εφαρμογές και χρησιμοποιήθηκε για να υποστηρίξει την πρόβλεψη και την

προσομοίωση ραντάρ αεροσκαφών. Υπάρχουν πολλές εφαρμογές οι οποίες υποστηρίζονται από το πρότυπο DTED. Αυτές είναι η ανάλυση οπτικής γωνίας, η τρισδιάστατη οπτικοποίηση εδάφους, η προσομοίωση και η μοντελοποίηση. Επιπλέον, παρέχει ποσοτικά δεδομένα σε ψηφιακή μορφή για εφαρμογές που χρειάζονται πληροφορίες για την ανύψωση του εδάφους, όμως παρέχει μεσαία ανάλυση.

Το πρότυπο DTED αποτελείται από τρία επίπεδα. Το επίπεδο 0 έχει απόσταση περίπου 900 μέτρα, σε κατεύθυνση γεωγραφικού πλάτους, μετά από 30 δευτερόλεπτα τόξου. Είναι παρόμοιο με το GTOPO30 που αναφέρθηκε προηγουμένως. Σε αυτή την περίπτωση τα δεδομένα έχουν καλύτερη ποιότητα από το GTOPO30. Το επίπεδο αυτό, όμως, καλύπτει το 50% του εδάφους που καλύπτει το GTOPO30. Το επίπεδο 1, ή αλλιώς DTED 1, έχει απόσταση περίπου 90 μέτρα μετά από τρία δευτερόλεπτα τόξου. Τέλος, το επίπεδο 2, ή αλλιώς DTED 2, έχει απόσταση περίπου 30 μέτρα μετά από ένα δευτερόλεπτο τόξου. [112][113]

Σύμφωνα με το πρότυπο DTED, η γη διαιρείται σε ζώνες για να καθοριστεί η ακριβής απόσταση. Ο διαχωρισμός αυτός γίνεται με βάση το γεωγραφικό πλάτος και το γεωγραφικό μήκος. [114][115]

	Ζώνη	Εύρος γεωγραφικού πλάτους	Επίπεδο 0	Επίπεδο 1	Επίπεδο 2
Απόσταση γεωγραφικού πλάτους	Όλες		30	3	1
Απόσταση γεωγραφικού μήκους	I	0° – 50° (Βόρεια – Νότια)	30	3	1
	II	50° – 70° (Βόρεια – Νότια)	60	6	2
	III	70° – 75° (Βόρεια – Νότια)	90	9	3
	IV	75° – 80° (Βόρεια – Νότια)	120	12	4
	V	80° – 90° (Βόρεια – Νότια)	180	18	6

Πίνακας 7. 1: DTED

7.2: Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)

7.2.1: Δημιουργία SRTM

Το Shuttle Radar Topography Mission παρήγαγε το πιο ολοκληρωμένο και υψηλής ανάλυσης, ψηφιακό μοντέλο ανύψωσης της γης. Ήταν μία κοινή προσπάθεια της NASA, της DOD / NGA (National Geospatial – Intelligence Agency, πρώην NIMA), της DLR (German Aerospace Center - Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) και της ASI (Agenzia Spaziale Italiana). Χρηματοδοτήθηκε από το NIMA και μεταφέρθηκε στο space shuttle Endeavour στις 11 Φεβρουαρίου 2000, σε μία αποστολή που διήρκησε 11 μέρες. Χρησιμοποίησε κεραίες διπλού ραντάρ, για να αποκτήσει δεδομένα ενδομετρικών ραντάρ, τα οποία είναι επεξεργασμένα σε ψηφιακά τοπογραφικά δεδομένα σε ανάλυση 1 τόξου.

Γενικά, υπήρχε η ανάγκη να δημιουργηθεί ένα παγκόσμιο ψηφιακό μοντέλο ανύψωσης υψηλής ποιότητας. Οι χάρτες, όμως, που παρήγαγαν οι τότε συμβατικές τεχνολογίες χαρτογράφησης, ήταν χαμηλής ποιότητας. Ορισμένοι είχαν μεγάλη ακρίβεια, ενώ άλλοι δεν ήταν καθόλου ικανοποιητικοί. Επιπλέον, για διάφορα μέρη του κόσμου, όπως για παράδειγμα για την Νότια Αμερική και την Αφρική, υπήρχαν ελάχιστα τοπογραφικά δεδομένα υψηλής ποιότητας. Αντίθετα, διάφορες βιομηχανικές χώρες διατηρούσαν η καθεμία χαρτογραφικές βάσεις δεδομένων. Οι χάρτες που προέρχονται από αυτές τις βάσεις δεδομένων, βασίζονται σε συγκεκριμένα δεδομένα για κάθε χώρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να είναι ασυνεπείς πέραν των εθνικών συνόρων. Ήταν γενικά δύσκολο και δαπανηρό ένα έργο, για την παραγωγή ενός ψηφιακού μοντέλου ανύψωσης με συμβατικά μέσα.

Ο μόνος τρόπος για να παραχθεί ένα παγκόσμιο, τοπογραφικό σύνολο δεδομένων, ήταν να χρησιμοποιηθεί μία παγκόσμια τεχνική χαρτογράφηση. Η εμφάνιση της συμβολομετρίας SAR (Synthetic Aperture Radar), τη δεκαετία του 1990, έδωσε τη δυνατότητα της δημιουργίας ενός παγκόσμιου ψηφιακού μοντέλου ανύψωσης. Έτσι, παράχθηκε το SRTM. Η συμβολομετρία SAR χρησιμοποιεί δύο εικόνες από ραντάρ, οι οποίες έχουν μικρή αναλογία βάσης προς ύψος. Από τις εικόνες αυτές, πραγματοποιεί μετρήσεις διαφοράς φάσης, για την μέτρηση της τοπογραφίας. Για να επιτυγχάνεται η ακρίβεια, γίνονται προσεκτικές μετρήσεις του μήκους και του προσανατολισμού της βάσης, σε σχέση με το σύστημα συντεταγμένων αναφοράς. Ο στόχος του SRTM, ήταν η απόκτηση ενός ψηφιακού μοντέλου ανύψωσης για την

περιοχή μεταξύ 60° N γεωγραφικού πλάτους και 56° S γεωγραφικού μήκους. Να καλύπτει, δηλαδή, περίπου το 80% της επιφάνειας της γης.

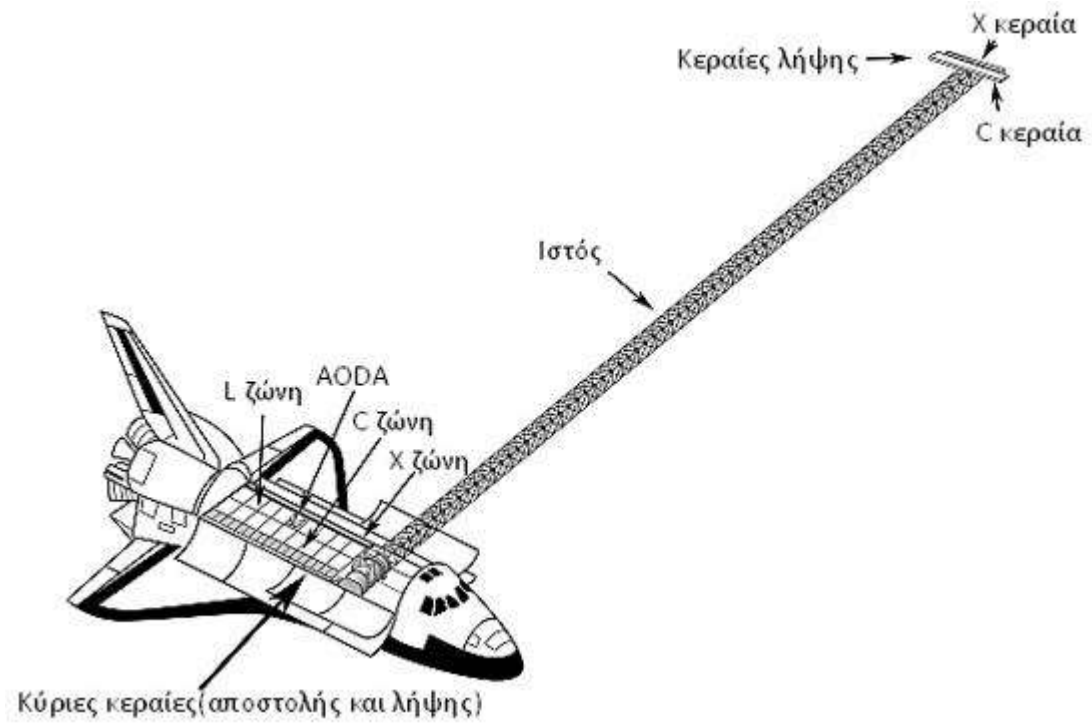
Όταν τέθηκε σε λειτουργία το space shuttle, στην πτήση του το 1981, μετέφερε το πρώτο επιστημονικό φορτίο, το OSTA – 1 (Office of Space and Terrestrial Applications-1). Μαζί με αυτό, περιλαμβανόταν ένα ραντάρ SAR, που ονομάζεται Shuttle Imaging Radar A (SIR – A). Το SIR – A ήταν μία μοναδικά πολωμένη L ζώνη, με οριζόντια αποστολή και λήψη, με μήκος 23,5 εκατοστά και με σταθερή γωνία εμφάνισης 45°. Το επόμενο βήμα στην εξέλιξη των ραντάρ ήταν το SIR – B, που πέταξε στην αποστολή Challenger 41 – G, το 1984. Λειτουργούσε στην ζώνη L, με γωνία εμφάνισης 15° έως 60°, και περιλάμβανε μία αναδιπλούμενη κεραία. Τέλος, προτάθηκε το SIR – C ως εργαλείο ανάπτυξης και στη συνέχεια, το 1980 εξελίχθηκε σε SIR C / X – SAR. Είχε μία ζώνη L και μία ζώνη C, που ήταν 5,6 εκατοστά, σε συνδυασμό με μία ζώνη X, που ήταν 3,1 εκατοστά, με μονή πόλωση και κάθετη αποστολή και λήψη. Το SIR C / X SAR ταξίδεψε τον Οκτώβρη και τον Απρίλη του 1994, ως Space Radar Laboratory (SRL). [116][117][118][119]

7.2.2: Επισκόπηση αποστολής

Το SRTM χρησιμοποίησε δύο ραντάρ. Ένα σύστημα ζώνης C, το οποίο ήταν 5,6 εκατοστά και ονομάστηκε C – radar, καθώς και ένα σύστημα ζώνης X, το οποίο ήταν 3,1 εκατοστά και ονομάστηκε X – radar. Για το C – radar ήταν υπεύθυνο το Jet Propulsion Laboratory (JPL) της NASA, ενώ για το X – radar ήταν υπεύθυνο το DLR με την Austrium. Στόχος του C – radar ήταν να παράγει συνεχή κάλυψη χαρτογράφησης. Το X – radar συμπεριλήφθηκε αρχικά ως πειραματική επίδειξη. Το σύστημα ζώνης X, είχε υψηλότερη ανάλυση και καλύτερη αναλογία σήματος προς θόρυβο (SNR), σε σχέση με το σύστημα ζώνης C. Τα ραντάρ SRTM σχεδιάστηκαν, χρησιμοποιώντας δυνατότητες ζώνης SLR C και X. Καθένα από τα δύο ραντάρ περιλάμβανε μία συμπληρωματική κεραία λήψης και υπήρχαν και οι κύριες κεραίες μετάδοσης και λήψης. Οι συμπληρωματικές κεραίες βρίσκονταν στο τέλος ενός ιστού που είχε μήκος 60 μέτρα. [116]

Ξεκίνησε στις 11 Φεβρουαρίου 2000, με πλήρωμα έξι ατόμων, από το Διαστημικό Κέντρο Kennedy. Το υψόμετρο επιλέχθηκε να είναι 233 χιλιόμετρα και η τροχιακή κλίση, 57°. Έτσι θα άρχιζε να επαναλαμβάνεται σε 10 μέρες περίπου, σε 159

τροχιές. Το Endeavour μπορούσε να χαρτογραφήσει την περιοχή, μεταξύ μεταξύ 60° N γεωγραφικού πλάτους και 56° S γεωγραφικού μήκους, σε έναν κύκλο 159 τροχιών.



Εικόνα 7. 3: Κύρια στοιχεία του SRTM

7.2.3: Σχεδιασμός SRTM

Ο σχεδιασμός του SRTM έγινε έτσι, ώστε να ικανοποιούνται συγκεκριμένες προδιαγραφές ακρίβειας χάρτη. Η μέτρηση της διαφοράς, με επαρκή ακρίβεια, μεταξύ δύο παρατηρήσεων ενός σημείου εδάφους, είναι ο στόχος ενός ραντάρ. Αυτό επιτυγχάνεται με γνώση της γεωμετρίας του ιντερφερόμετρου και της ενδομετρικής φάσης. Το ύψος h_t δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$h_t = h_p - \rho * \cos \left[\sin^{-1} \left(\frac{\lambda * \varphi}{2 * \pi * B} \right) + \alpha \right] \quad (7. 1)$$

Όπου h_p είναι το ύψος της πλατφόρμας, το ρ είναι το εύρος, το φ είναι η ενδομετρική φάση. Το α είναι η γωνία κύλισης της γραμμής βάσης, το λ είναι το μήκος κύματος και το B είναι το μήκος βάσης. Εάν προκύψουν λάθη στις ποσότητες της εξίσωσης, τότε

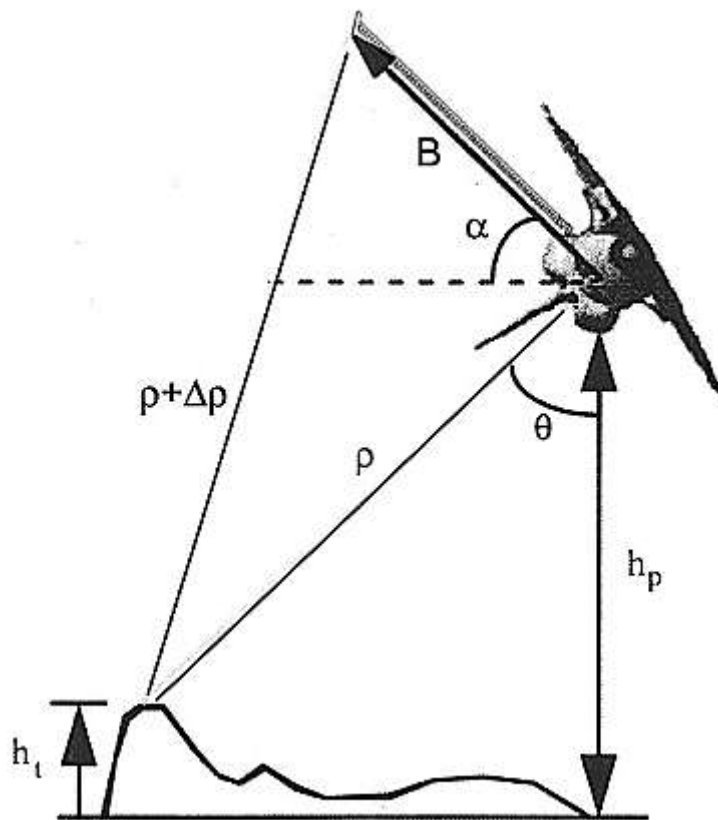
επηρεάζεται συνολικά η απόδοση του SRTM. Η ευαισθησία του ύψους στη φάση, δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\frac{\partial h}{\partial \varphi} = \frac{\lambda}{2 * \pi} * \frac{\rho * \sin \theta}{B * \cos(\theta - \alpha)} \quad (7.2)$$

Όσο η γραμμή βάσης αυξάνεται, τόσο η ευαισθησία του ύψους μειώνεται. Η γωνία βάσης είναι 45°. [116]

Ένα άλλο πιθανό σφάλμα, ήταν η γωνία βάσης α . Η ευαισθησία του ύψους στο σφάλμα γωνίας, δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\frac{\partial h}{\partial \alpha} = \rho * \sin \theta \quad (7.3)$$



Εικόνα 7. 4: Γεωμετρία ιντερφερόμετρου SRTM

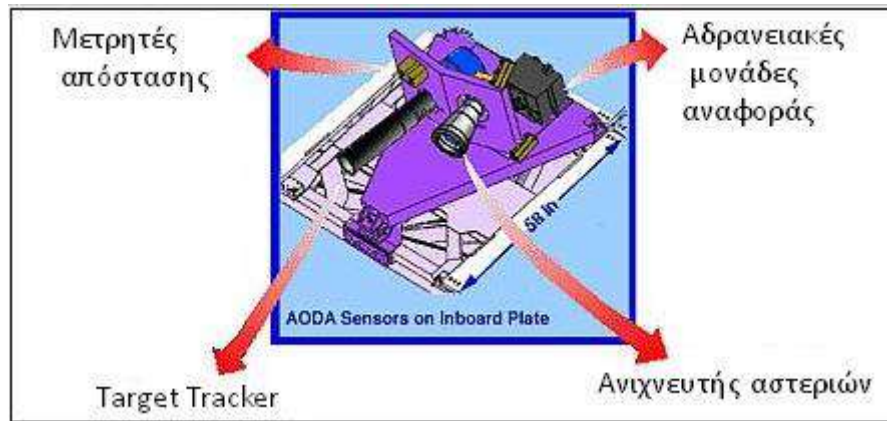
7.2.4: Υλικό SRTM

Το SRTM βασίστηκε στα όργανα SRL SIR – C / X – SAR, τα οποία αργότερα τροποποιήθηκαν. Το σύστημα που προέκυψε περιλαμβάνει τέσσερα υποσυστήματα. Αυτά είναι το C – radar, το X – radar, το AMS (Antenna Mechanical System) και το AODA (Attitude and Orbit Determination Avionics). Από αυτά τα τέσσερα υποσυστήματα, το C – radar, το X – radar και το AMS, χρησιμοποιήσαν το SIR – C / X – SAR.

Το C – radar παρέχεται από την NASA / JPL. Προσφέρει δυνατότητα διπλής πόλωσης, έχει μήκος κύματος 5,6 εκατοστά, συχνότητα 5,3 GHz, εύρος ζώνης 10 MHz και μέγιστη ισχύς ακτινοβολίας 1,2 kW ανά πόλωση. Χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα δύο ζεύγη ακτινών, τα οποία κινούνται εμπρός πίσω, μέσα στο πλάτος του δακτυλίου. Η εναλασσόμενη αυτή κίνηση, δημιουργεί ένα μοτίβο εικόνων SAR, το οποίο είναι συνεχές. Έχει πλάτος ροής 225 χιλιόμετρα και μέγεθος εικονοστοιχείου, 30 μέτρα. Η συλλογή των δεδομένων οργάνων, γίνεται στα 180 Mbit/s και η αποθήκευση τους γίνεται στις ενσωματωμένες συσκευές εγγραφής.

Το X – radar παρέχεται από το DLR και το ASI. Προσφέρει δυνατότητα μονής σταθερής δέσμης. Έχει συχνότητα 9,6 GHz, εύρος ζώνης 9,5 MHz, μήκος κύματος 3,1 εκατοστά και μέγιστη ισχύς ακτινοβολίας 1,7 kW. Κατέχει λειτουργία ευρείας διαδρομής 50 χιλιομέτρων, ανάλυση οριζόντιων εικονοστοιχείων 30 μέτρα και ανάλυση κάθετου ύψους 6 μέτρα. Η συλλογή των δεδομένων οργάνων, γίνεται στα 90 Mbit/s και η αποθήκευση τους γίνεται στις ενσωματωμένες συσκευές εγγραφής.

Το AODA αποτελούνταν από κάποιους αισθητήρες, οι οποίοι είναι το target tracker και ένα νέο σύστημα δέκτη, που ονομάζεται Black Jack. Το σύστημα αυτό ήταν υπεύθυνο για τον καθορισμό μετρητών απόστασης, αδρανειακών δεδομένων μεταφοράς και ανιχνευτή αστεριών. Οι αισθητήρες, χρησιμοποιούνταν για να συλλεχθούν πληροφορίες για την στάση και την θέση. Η παροχή ιστορικού με τον χρόνο, ύστερα από την πτήση της ενδομετρικής γραμμής βάσης, ήταν η βασική λειτουργία του συστήματος AODA. Κάθε φορά που τα ραντάρ συλλέγουν δεδομένα με ρυθμό πάνω από 0,25 Hz, το σύστημα AODA έπρεπε να παρέχει εκτίμηση του μήκους με ακρίβεια 2 mm, εκτίμηση της στάσης με ακρίβεια 9 arcsec και εκτίμηση της θέσης της ενδομετρικής γραμμής βάσης, με ακρίβεια 1 μέτρο. [116]



Εικόνα 7. 5: Περιγραφή AODA

7.3: Google Earth

Η Google Earth είναι πλέον, το πιο γνωστό και ευρέως χρησιμοποιούμενο λογισμικό συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών (GIS – Geographic Information System). Παρέχει την απεικόνιση της γη σε τρισδιάστατη μορφή και δίνει στους χρήστες τη δυνατότητα να έχουν πρόσβαση σε δορυφορικές και εναέριες φωτογραφίες. Με την εισαγωγή διευθύνσεων ή συντεταγμένων, οι χρήστες μπορούν να περιηγηθούν σε διάφορες περιοχές και να δουν τοπία από διάφορες οπτικές γωνίες. Αρχικά, ήταν γνωστή με το όνομα Keyhole και η τεχνολογία πίσω από αυτή, αναπτύχθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1990. Είχε χρηματοδοτηθεί από την εταιρεία επιχειρηματικών κεφαλαίων της CIA (Central Intelligence Agency), την In – Q – Tel και το 2004, αποκτήθηκε από την Google, όταν διαπίστωσε ότι πολλές αναζητήσεις ήταν γεωγραφικού χαρακτήρα. Πλέον, η Google Earth καλύπτει το 98% της γης, πέρα από κάποιες περιοχές που περιέχουν στρατιωτικές εγκαταστάσεις και είναι απόρρητες. Παρόμοια προγράμματα με τη Google Earth, είναι το World Wind της NASA, το ArcGIS του Esri και το GeoPlayer του GeoFusion. [120][121]

Πριν από την NASA και το Landsat 8 του USGS (United States Geological Survey), οι εικόνες στην Google Earth βασίστηκαν στο Landsat 7, που όμως δεν ήταν άριστης ποιότητας. Πλέον, χρησιμοποιείται το Landsat 8 για την λήψη εικόνων με μεγαλύτερη συχνότητα, οι οποίες έχουν καλύτερη ποιότητα. Η Google Earth χρησιμοποιεί δεδομένα που συλλέγονται από ψηφιακό μοντέλο ανύψωσης της NASA, το Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Οι εικόνες αυτές μπορούν να προβληθούν σε μια ψηφιακή υδρόγειο, στην οποία απεικονίζεται η επιφάνεια της γης. Σε ορισμένες πόλεις, οι εικόνες εμφανίζουν μοντέλα τρισδιάστατων κτηρίων και όσο

περισσότερο μεγενθύνονται, τόσο περισσότερο οι περιοχές προβάλλονται με λεπτομερή ανάλυση. [120][121]



Εικόνα 7. 6: Ψηφιακή υδρόγειος στην Google Earth



Εικόνα 7. 7: Δορυφορική αναπαράσταση περιοχής στην Google Earth

Τον Απρίλιο του 2008, ενσωματώθηκε στην Google Earth μία λειτουργία, που ονομάζεται Street View. Με αυτή την λειτουργία, οι φωτογραφίες εμφανίζονται πανοραμικές και σε επίπεδο δρόμου 360 μοιρών. Μπορούν να προβληθούν από διάφορες γωνίες. Οι χρήστες μπορούν να περιηγηθούν κανονικά στους δρόμους με την χρήση εικονιδίων βέλους, καθώς οι εικόνες λήφθηκαν από κάμερες που ήταν τοποθετημένες σε αυτοκίνητα. [120][121]



Εικόνα 7. 8: Παράδειγμα Street View στην Google Earth

Τα επόμενα χρόνια παρουσιάστηκαν και άλλες λειτουργίες της Google Earth. Η λειτουργία Google Ocean, δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να περιηγηθούν και να εξερευνήσουν κάτω από την επιφάνεια του ωκεανού. Αντίστοιχα, η λειτουργία Google Sky, παρέχει τη δυνατότητα στους χρήστες να εξερευνήσουν αστέρια και γενικότερα ουράνια σώματα. Τέλος, υπάρχουν οι λειτουργίες Google Mars και Google Moon, οι οποίες παρέχουν εικόνες και επιτρέπουν την εξερεύνηση στον πλανήτη Άρη και στη Σελήνη, αντίστοιχα. [122]

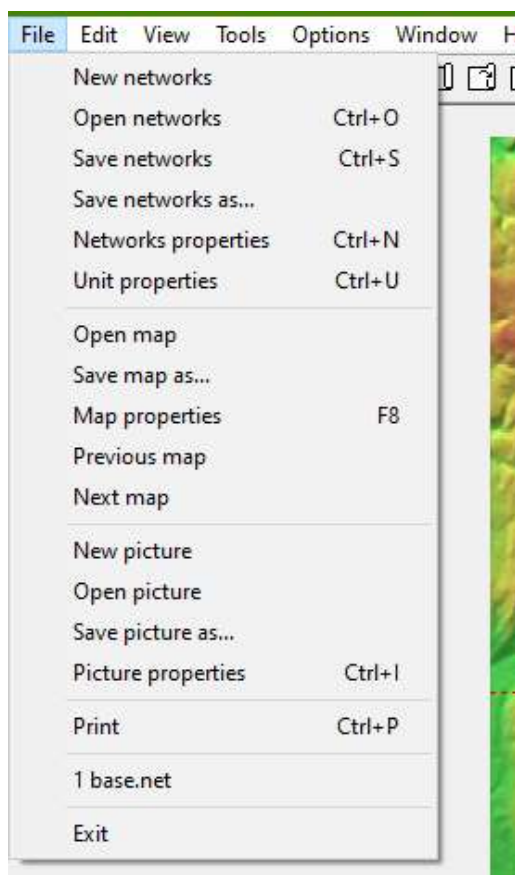
Κεφάλαιο 8: Radio Mobile

8.1: Περιγραφή προγράμματος

Το Radio Mobile είναι ένα πρόγραμμα προσομοίωσης ενός ραδιοφωνικού δικτύου, το οποίο δημιουργήθηκε από τον Roger Coudé. Είναι βασισμένο στο Longley – Rice μοντέλο, για εύρος συχνοτήτων 20 MHz έως 20 GHz. Χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη και τον υπολογισμό, της κάλυψης και της απόδοσης του σταθμού βάσης και γενικότερα ενός δικτύου. Για την πρόβλεψη της κάλυψης, λαμβάνει υπόψιν του διάφορες παραμέτρους. Κάποιες μπορεί να είναι η ανύψωση του εδάφους, η συχνότητα, η τοποθεσία του πομπού και του δέκτη, ο τύπος των κεραιών του πομπού και του δέκτη, καθώς και οι απώλειες που μπορεί να προκύψουν κατά τη διάδοση. Λαμβάνει δεδομένα ανύψωσης εδάφους από το DTED (Digital Terrain Elevation Data) ή από το SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Με βάση αυτά, δημιουργεί χάρτες για οποιαδήποτε περιοχή. [123]

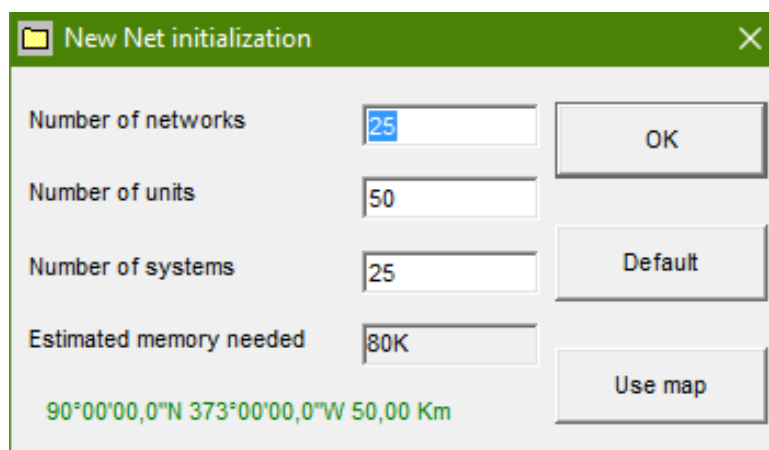
8.2: Περιεχόμενα προγράμματος

8.2.1: File



Εικόνα 8. 1: File

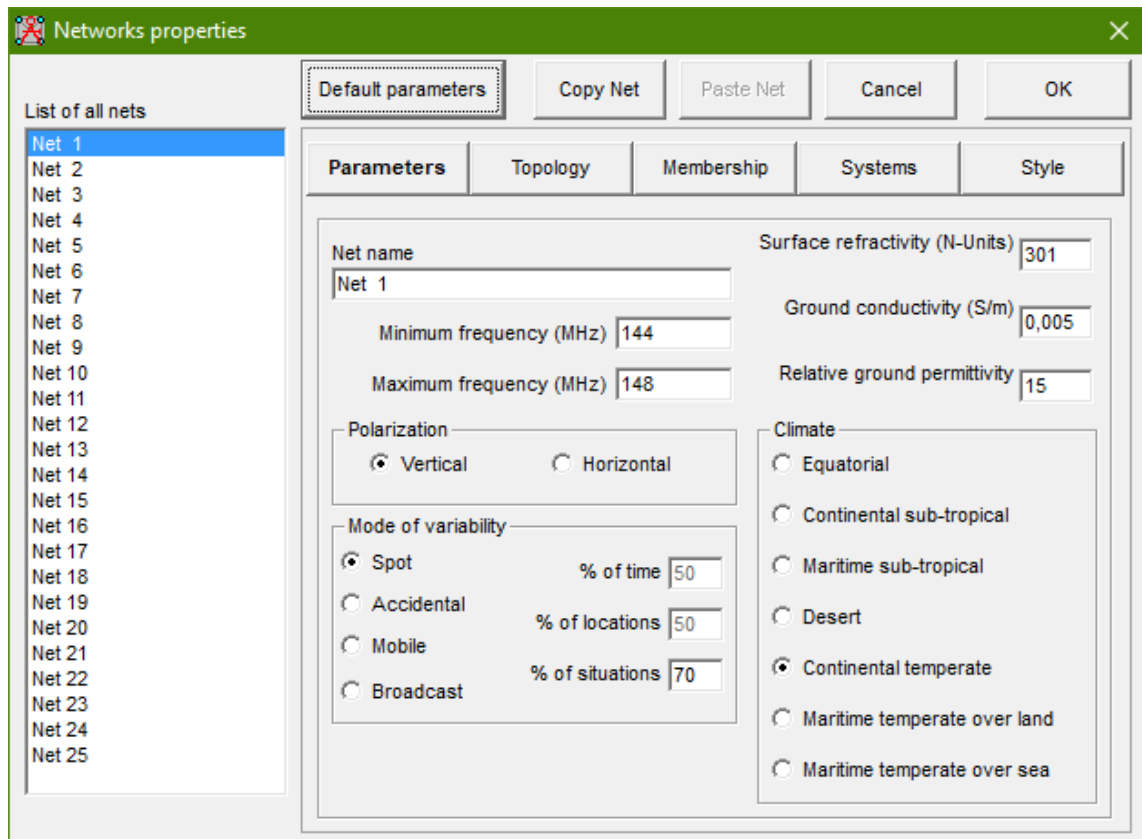
Στο File από το μενού εμφανίζεται ένα πλαίσιο, το οποίο σαν πρώτη επιλογή έχει το New networks. Με την επιλογή αυτή, ορίζονται όλα τα δεδομένα και οι παράμετροι στις προεπιλεγμένες τιμές και διαγράφονται όλα τα δεδομένα και εικόνες από την μνήμη.



Εικόνα 8. 2: New networks

Με την δεύτερη επιλογή που είναι το Open networks, μπορεί να φορτωθεί ένα αρχείο που είχε αποθηκευτεί από προηγούμενη εργασία. Το αρχείο αυτό περιλαμβάνει μονάδες και δεδομένα συστήματος και τη διαδρομή του χάρτη. Το Save networks, επιλέγεται για να αποθηκευτούν όλα τα αρχεία του έργου στον υπολογιστή. Αντίστοιχα, το Save network as χρησιμοποιείται για να αποθηκευτούν, τα δεδομένα των δικτύων σε ένα αρχείο.

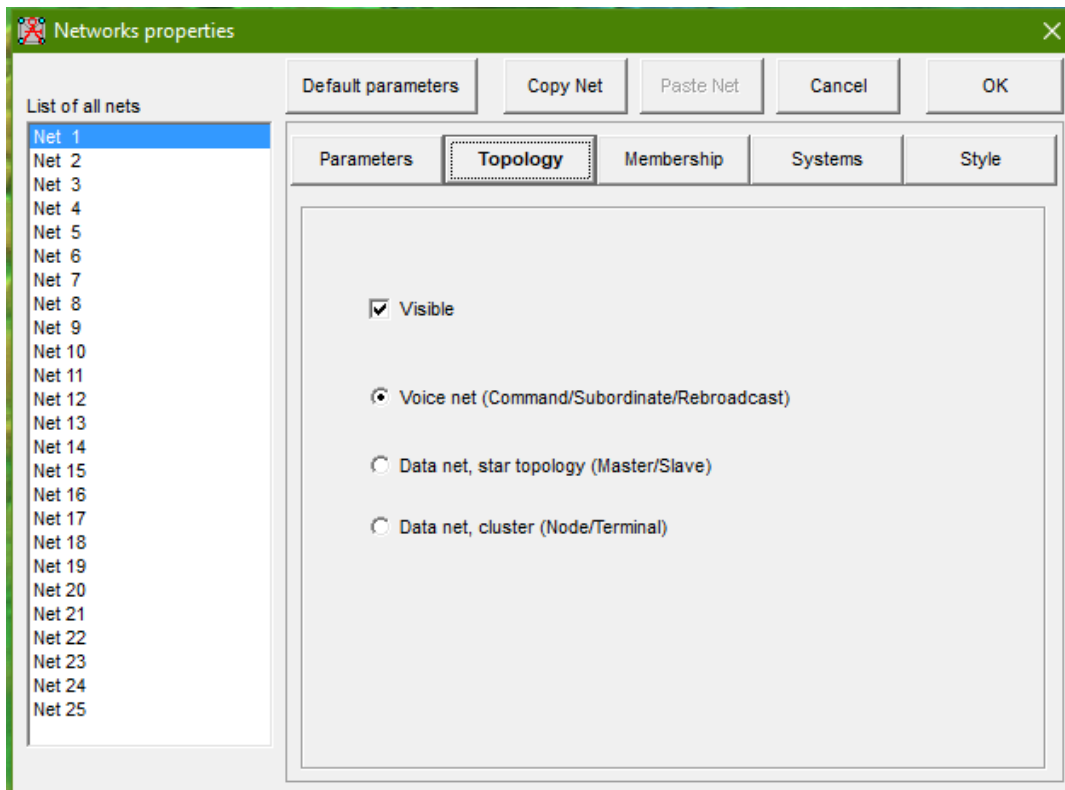
Το Networks properties ανοίγει ένα παράθυρο που περιέχει όλα τα στοιχεία για την εκτέλεση του δικτύου. Αποτελείται από τις επιλογές Parameters, Topology, Membership, Systems και Style. Στο Parameters επιλέγεται το όνομα του δικτύου, στο πλαίσιο Net name, καθώς και η ελάχιστη και η μέγιστη συχνότητα του δικτύου, στα πλαίσια Minimum και Maximum frequency, αντίστοιχα. Στο πλαίσιο Surface refractivity, επιλέγεται η διαθλαστικότητα του αέρα πάνω ή κοντά στο έδαφος. Στο πλαίσιο Ground conductivity, επιλέγεται η αγωγιμότητα του εδάφους. Στο πλαίσιο Relative ground permittivity, επιλέγεται η σχετική διαπερατότητα του εδάφους. Γενικά, ο κίνδυνος εξασθένισης ή απώλειας ραδιοκυμάτων αυξάνεται, ανάλογα με την αγωγιμότητα του εδάφους. Στη συνέχεια, στο Polarization επιλέγεται αν η πόλωση θα είναι κάθετη ή οριζόντια.



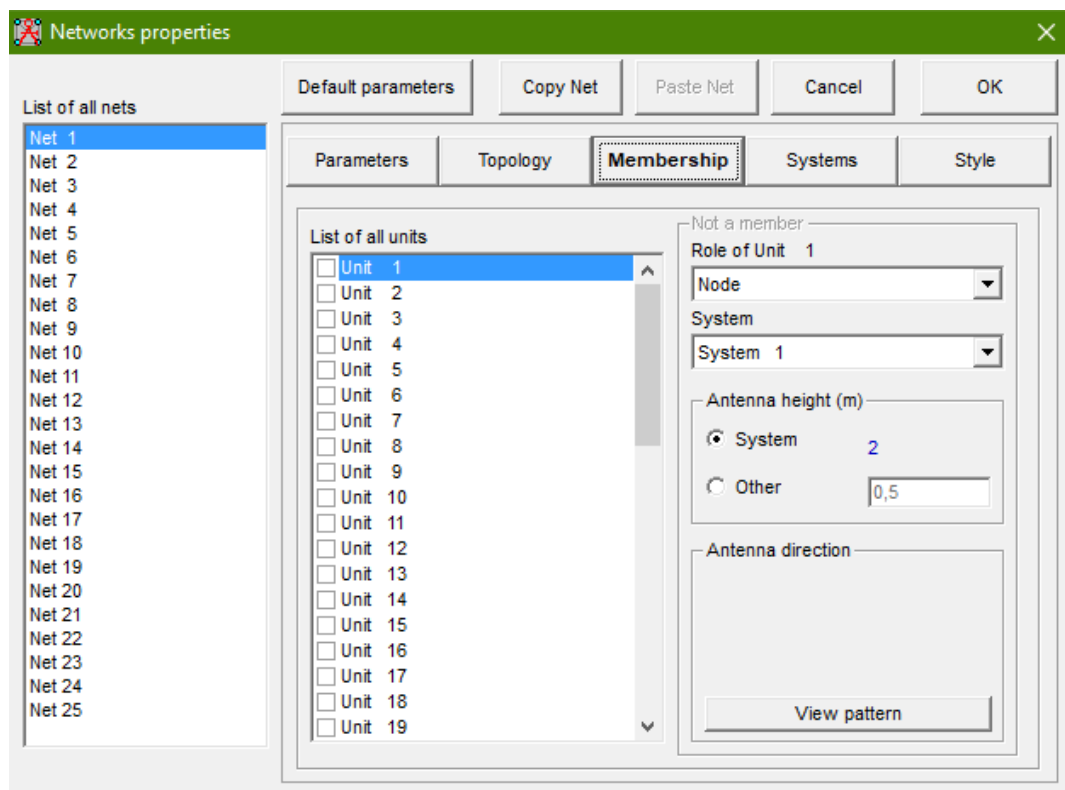
Εικόνα 8. 3: Network properties - Parameters

Στο πλαίσιο Mode of variability, επιλέγεται ο τρόπος μεταβλητότητας και τροποποιεί την τιμή του περιθωρίου που εμφανίζεται σε μία διαδρομή και προστίθεται στην απώλεια διαδρομής. Η λειτουργία Spot είναι για ένα μήνυμα. Η λειτουργία Accidental αφορά την αξιολόγηση παρεμβολών. Η επιλογή Mobile αφορά μονάδες που κινούνται κατά την επικοινωνία και η επιλογή Broadcast, αφορά σταθερές μονάδες. Τέλος, στο πλαίσιο Climate επιλέγεται ο τύπος του κλιματος που επικρατεί στην επιλεγμένη περιοχή.

Στο Topology, η επιλογή Visible χρησιμοποιείται για να εμφανιστεί ή να αποκρυφτεί ένα δίκτυο στον χάρτη. Το Voice net επιλέγεται για ένα δίκτυο, στο οποίο απαιτούνται γραμμές από θέσεις εντολών έως και δευτερεύουσες μονάδες. Το Data net, star topology (Master / Slave), επιλέγεται για ένα δίκτυο στο οποίο υπάρχει μία κυρίαρχη μονάδα (Master) και οι μονάδες Slave, χωρίς συνδέσμους μεταξύ τους. Το Data net, cluster (Node / Terminal), επιλέγεται για ένα δίκτυο το οποίο περιλαμβάνει κόμβους, οι οποίοι πραγματοποιούν αναμετάδοση και επανεκπομπή.

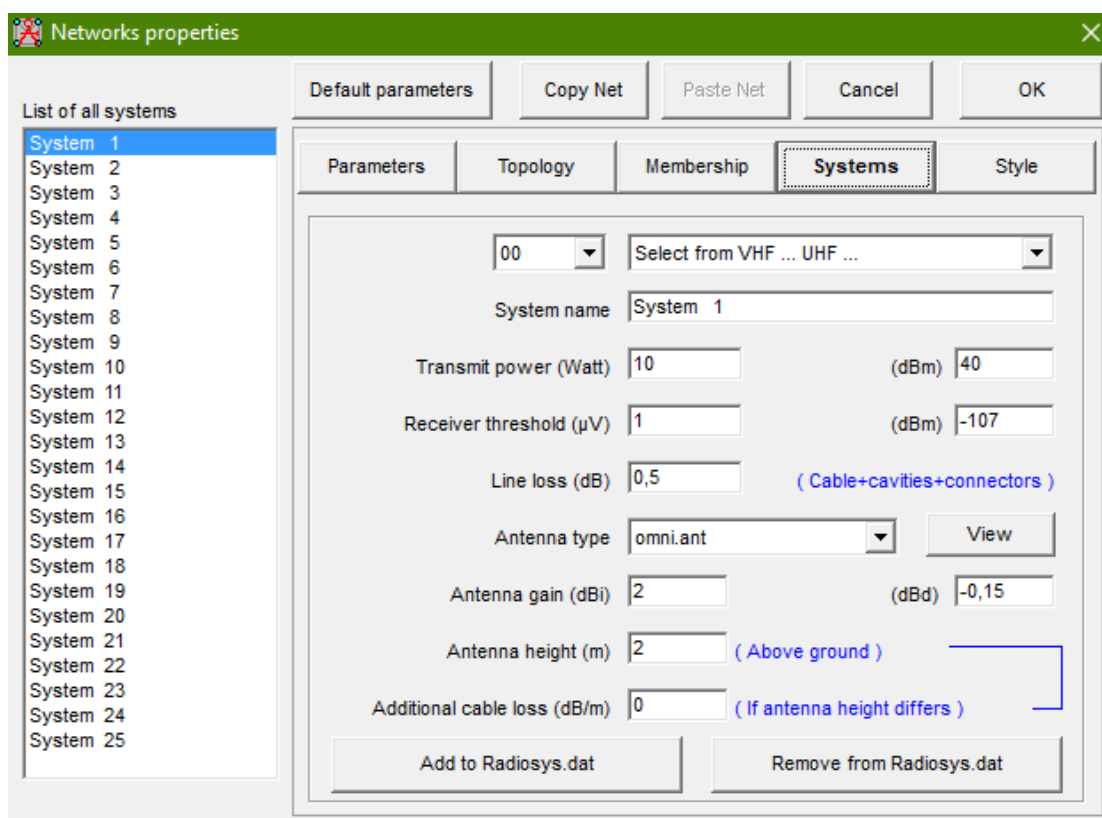


Εικόνα 8. 4: Network properties – Topology



Εικόνα 8. 5: Network properties - Membership

Στο Membership, στο πλαίσιο List of all Units, επιλέγονται οι μονάδες που θα προστεθούν στο δίκτυο. Δεξιά στα πλαίσια Role of Unit και System, επιλέγονται ο ρόλος της μονάδας και το σύστημα, αντίστοιχα. Στο πλαίσιο Antenna height, ορίζεται χειροκίνητα το ύψος της κεραίας. Τέλος, στο πλαίσιο Antenna direction, εμφανίζεται η κατεύθυνση και η ανύψωση της κεραίας. Μπορεί, επίσης, η επιλογή αυτή να οριστεί και χειροκίνητα.

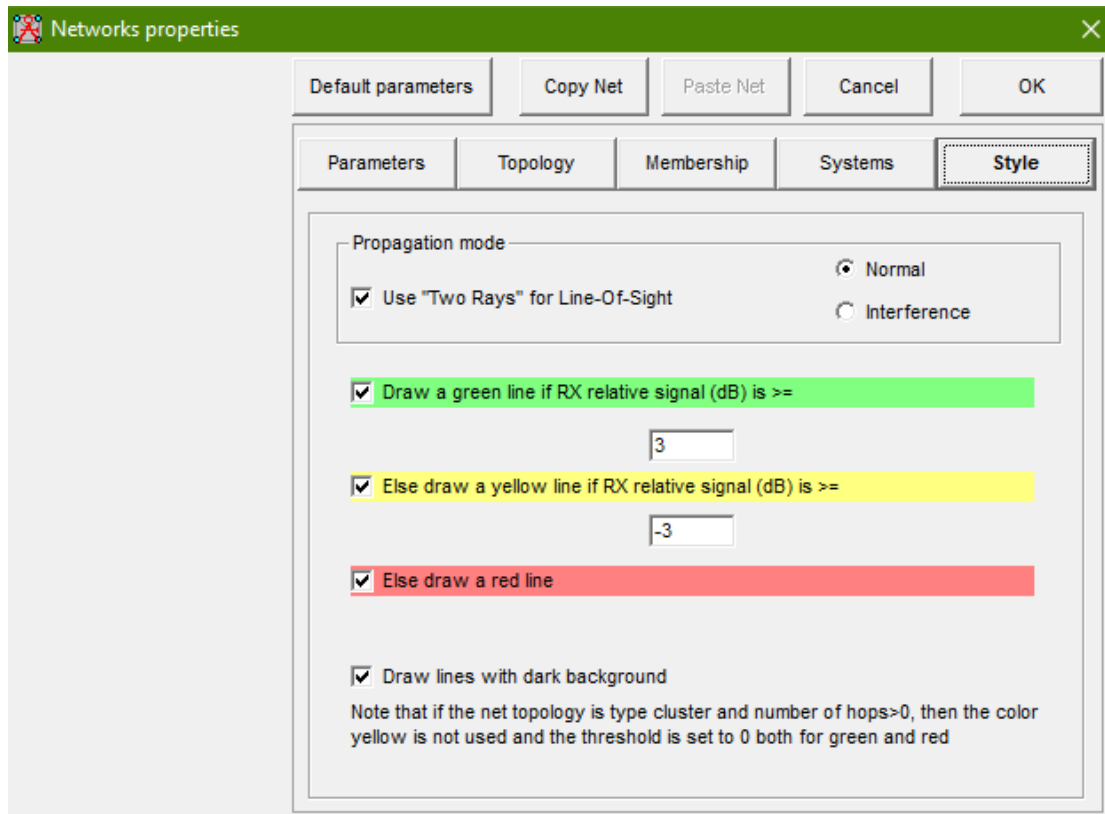


Εικόνα 8. 6: Network properties - Systems

Στο Systems ορίζεται η ισχύς μετάδοσης, η οποία αν δοθεί σε watt, μετατρέπεται και σε decibel. Ισχύει και το αντίστροφο. Με τον ίδιο τρόπο ορίζεται το κατώφλι του δέκτη σε μV και μετατρέπεται σε decibel. Ορίζεται το Line loss, που αφορά τις απώλειες στις εσωτερικές καλωδιώσεις. Τέλος, ορίζονται το κέρδος και το ύψος της κεραίας, καθώς και επιπρόσθετες απώλειες.


Στο Style ορίζεται η λειτουργία διάδοσης και στη συνέχεια, ο χρήστης επιλέγει χρώματα με τα οποία θα σχεδιαστεί το δίκτυο. Στην εικόνα 8.7, φαίνεται πως με

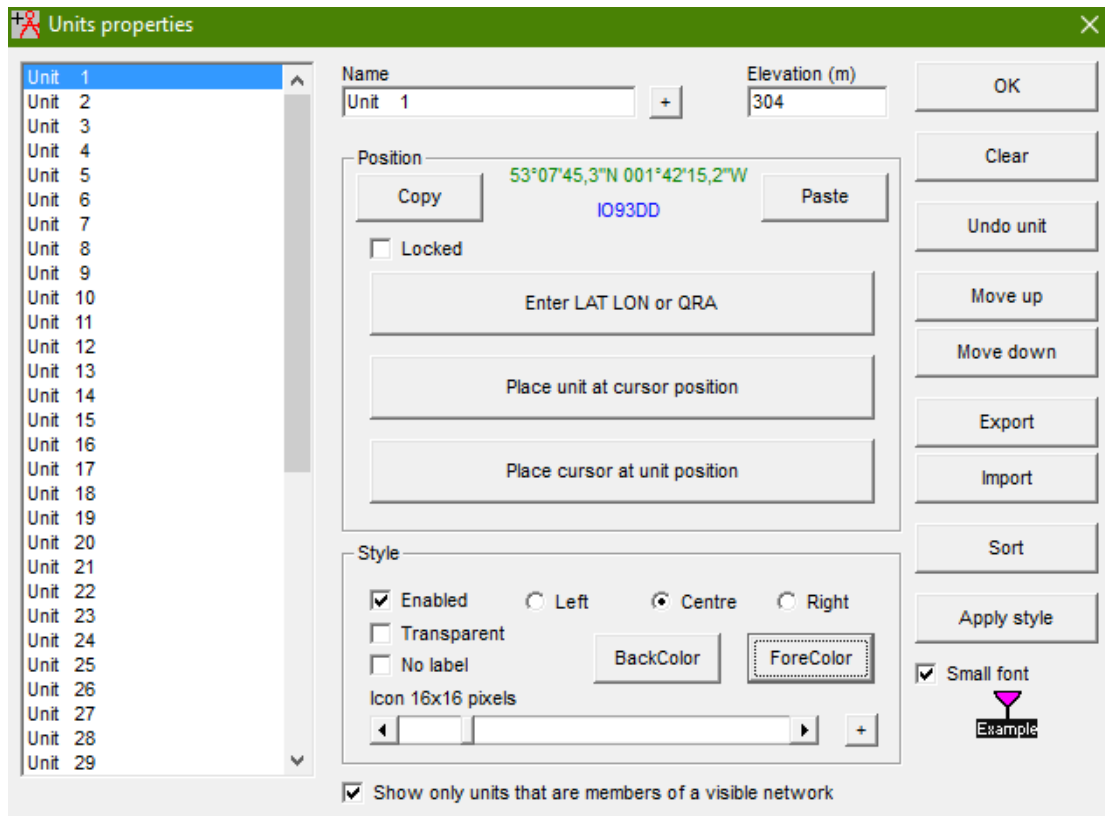
πράσινο χρώμα θα σχεδιαστούν οι συνδέσεις του δικτύου, αν το σήμα που λαμβάνεται είναι μεγαλύτερο από 3 dB. Με κίτρινο χρώμα θα σχεδιαστούν, αν το σήμα που λαμβάνεται είναι μεγαλύτερο από -3 dB. Τέλος, με κόκκινο χρώμα θα σχεδιαστούν, αν το σήμα είναι ασθενέστερο από -3 dB.



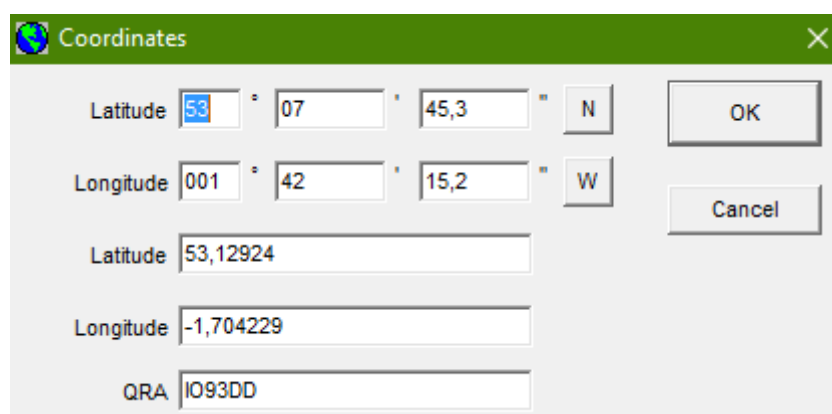
Εικόνα 8. 7: Network properties – Style

Το Unit properties επιλέγεται για την επεξεργασία των δεδομένων μονάδων. Αρχικά, ορίζεται το όνομα της μονάδας και το ύψος του εδάφους που βρίσκεται η μονάδα, στα πλαίσια name και elevation, αντίστοιχα. Στη συνέχεια, στο πλαίσιο Position ορίζεται η θέση της μονάδας. Με την επιλογή Enter LAT, LON or QRA, μπορεί να εισαχθεί απευθείας η θέση της μονάδας, με βάση τις συντεταγμένες. Με την επιλογή Place unit at cursor point, η μονάδα τοποθετείται στο σημείο που έκανε αριστερό κλικ ο κέρσορας. Με την επιλογή Place cursor at a unit position, μετακινείται ο κέρσορας στη θέση της τρέχουσας επιλεγμένης μονάδας. Στο πλαίσιο Style ορίζεται ο τρόπος, που θα εμφανίζεται η μονάδα στον χάρτη. Με την επιλογή Enabled, εμφανίζεται το εικονίδιο της μονάδας στον χάρτη. Με τις επιλογές transparent και no label, ορίζεται αν η ετικέτα θα έχει κάποιο φόντο ή ότι δεν θα υπάρχει ετικέτα, αντίστοιχα. Επίσης, μπορεί να καθοριστεί αν η ετικέτα θα βρίσκεται δεξιά, στο κέντρο

ή αριστερά του εικονιδίου της μονάδας, καθώς και τα χρώματα της ετικέτας. Τέλος, από το  που βρίσκεται κάτω δεξιά, μπορεί να οριστεί το εικονίδιο που θα έχει η μονάδα.

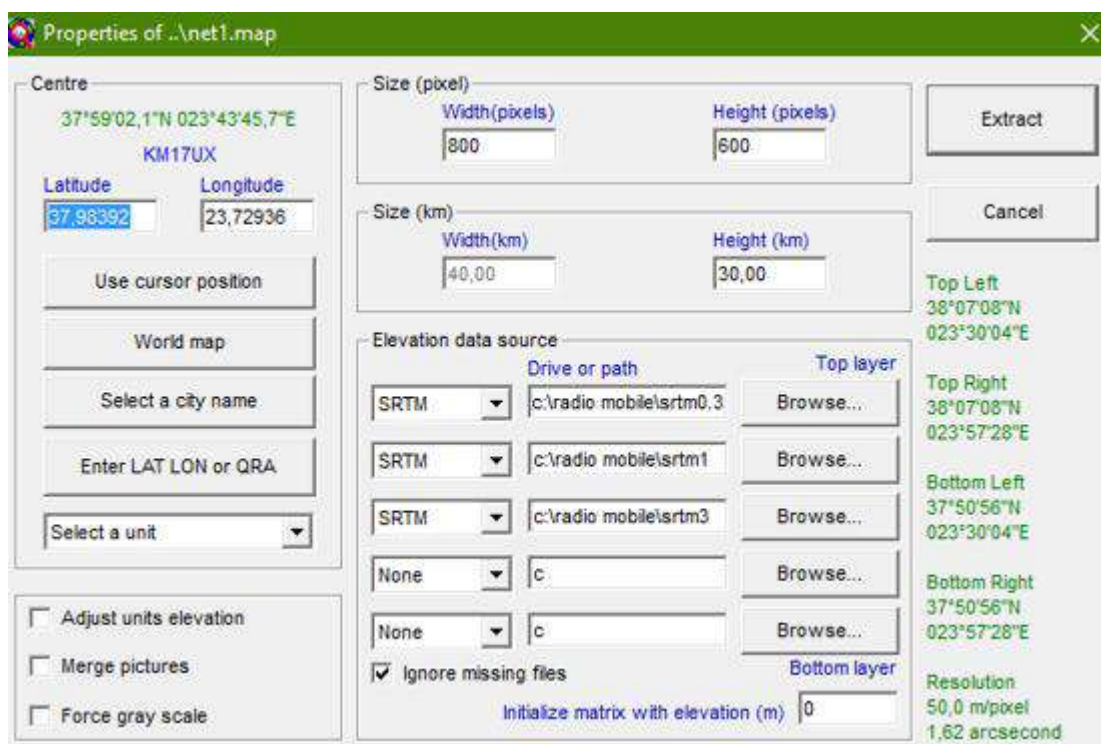


Εικόνα 8. 8: Unit properties



Εικόνα 8. 9: Enter LAT, LON or QRA

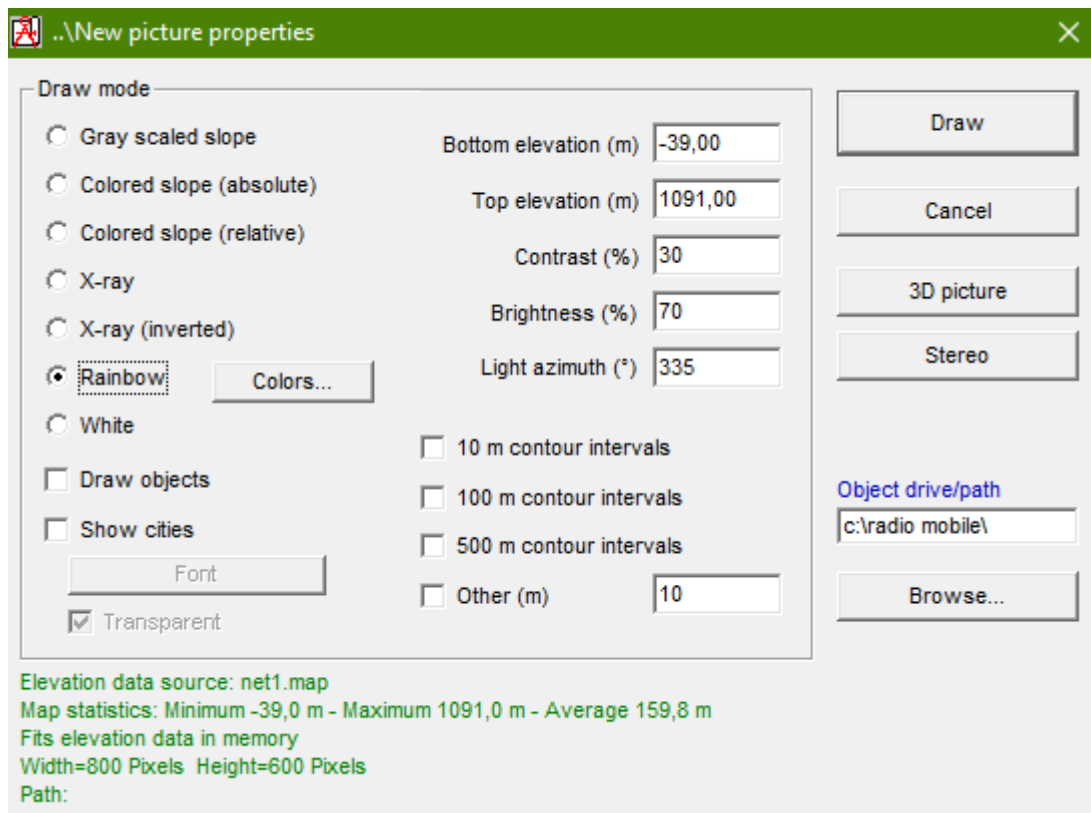
Στη συνέχεια, με το Open map μπορεί να φορτωθεί ένας χάρτης που είχε αποθηκευτεί από προηγούμενη εργασία και περιλαμβάνει δεδομένα ανύψωσης. Το Save map as χρησιμοποιείται για να αποθηκευτούν τα δεδομένα του χάρτη, σε ένα αρχείο. Το όνομα του αρχείου, αποτελείται από το όνομα που δίνει ο χρήστης στον χάρτη, το οποίο ακολουθείται από το .map. Με το Map properties, καθορίζονται τα όρια κάλυψης του χάρτη και επιλέγεται η βάση δεδομένων ανύψωσης. Στο πλαίσιο Centre στην κορυφή, εμφανίζονται οι συντεταγμένες του κέντρου της εικόνας. Αλλιώς, η θέση μπορεί να οριστεί είτε με την τοποθεσία που βρίσκεται ο κέρσορας, είτε από τον παγκόσμιο χάρτη, είτε επιλέγοντας το όνομα μίας πόλης, είτε εισάγοντας χειροκίνητα τις συντεταγμένες. Στα πλαίσια Pixel και Size, ορίζεται το μέγεθος της εικόνας που εμφανίζεται ο χάρτης. Τέλος, στο πλαίσιο Elevation data source επιλέγεται η πηγή από την οποία θα ληφθούν τα δεδομένα ανυψωσης.



Εικόνα 8. 10: Map Properties

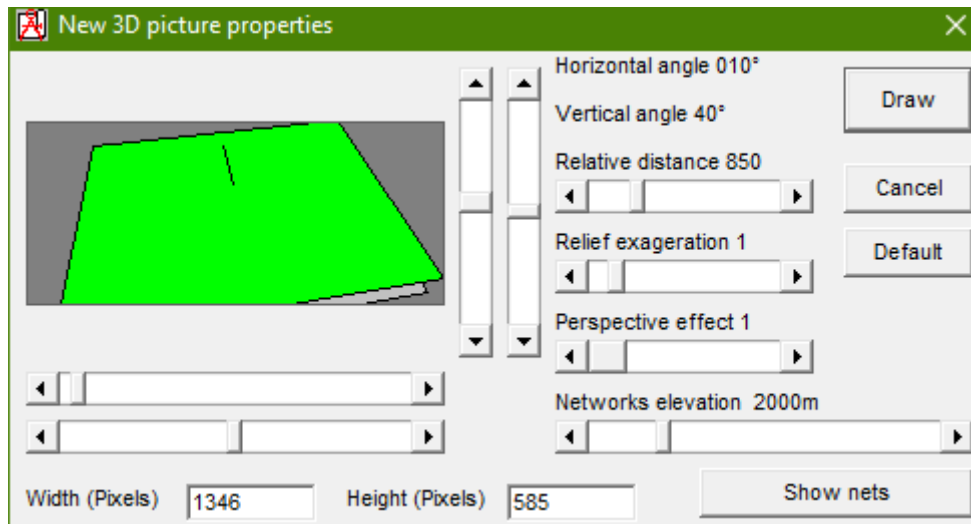
Με το Previous map και το Next map, επιλέγεται ο προηγούμενος ή ο επόμενος χάρτης αντίστοιχα.

Με το New picture, ο χρήστης επεξεργάζεται τις ιδιότητες της εικόνας για να δημιουργήσει μία νέα εικόνα χάρτη.



Εικόνα 8. 11: New picture

Από το πλαίσιο Draw mode, επιλέγεται ο τρόπος με τον οποίο θα εμφανίζεται η εικόνα του χάρτη. Για παράδειγμα, μπορεί να εμφανιστεί με χρώματα, σε μορφή x – ray ή σε gray scale. Επίσης, από την επιλογή 3D picture, μπορεί η εικόνα του χάρτη να εμφανιστεί σε τρισδιάστατη μορφή. Τέλος, υπάρχει και η επιλογή Stereo, η οποία χρησιμοποιεί μία δισδιάστατη εικόνα χάρτη και διαχωρίζει τα χρώματα, έτσι ώστε το αριστερό και το δεξί μάτι να έχουν διαφορετική οπτική γωνία. Απαιτούνται όμως, ειδικά γυαλιά για να μπορέσει ο χρήστης να δει αυτή την μορφή της εικόνας του χάρτη.

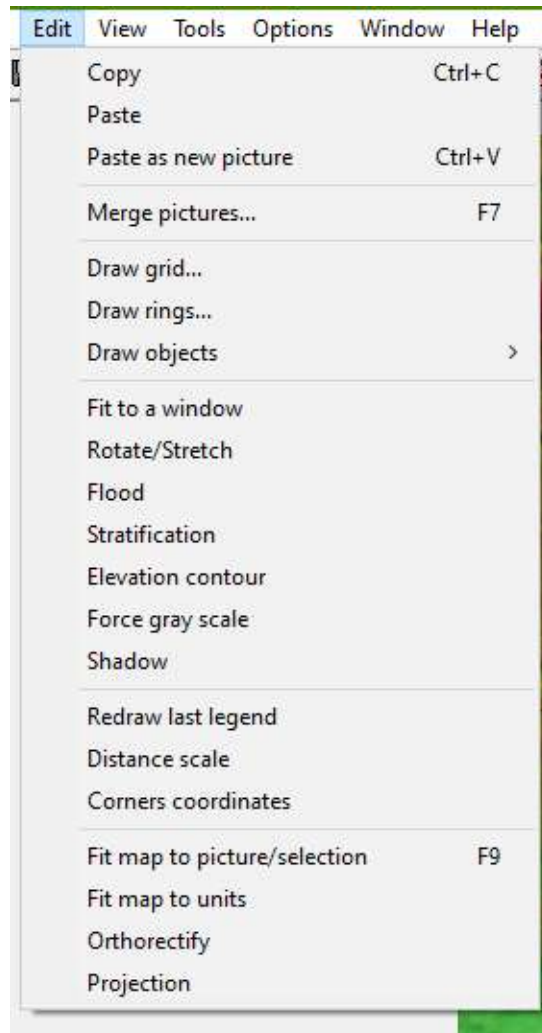


Εικόνα 8. 12: 3D picture

Το Open picture χρησιμοποιείται για να φορτωθεί ένα αρχείο εικόνας από τον υπολογιστή. Τα αρχεία εικόνων παίρνουν ονομασίες με το όνομα της εικόνας, ακολουθούμενο από το .dat. Το Save picture as, χρησιμοποιείται για να αποθηκεύει εικόνες που βρίσκονται μόνο σε μορφή BMP. Το Picture properties εμφανίζει το ίδιο παράθυρο που εμφανίζεται στην επιλογή New picture και απεικονίζεται στην εικόνα 8.11. Χρησιμοποιείται για να τροποποιηθεί η εικόνα του χάρτη.

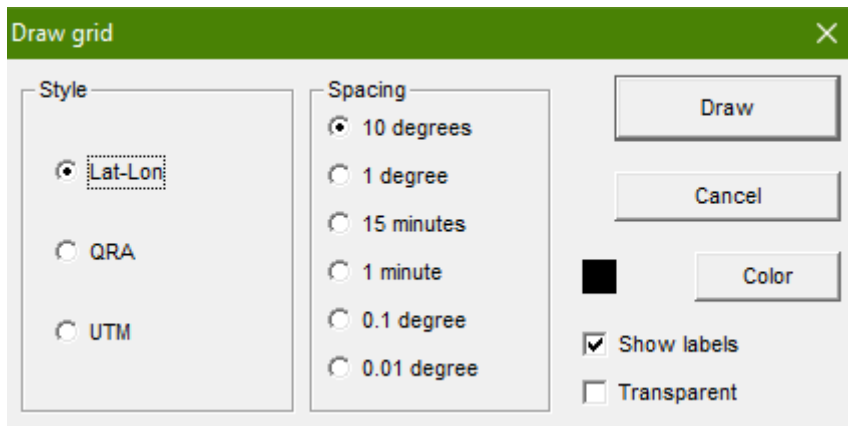
Με την επιλογή Print, μπορεί να εκτυπωθεί η εικόνα χάρτη σε έναν εκτυπωτή. Ακριβώς κάτω από την επιλογή Print, μπορεί να εμφανιστούν αρχεία, τα οποία είναι πρόσφατα αρχεία δικτύων. Τέλος, με την επιλογή Exit μπορεί να τερματιστεί η λειτουργία του προγράμματος, ύστερα από ερώτηση επιβεβαίωσης.

8.2.2: Edit

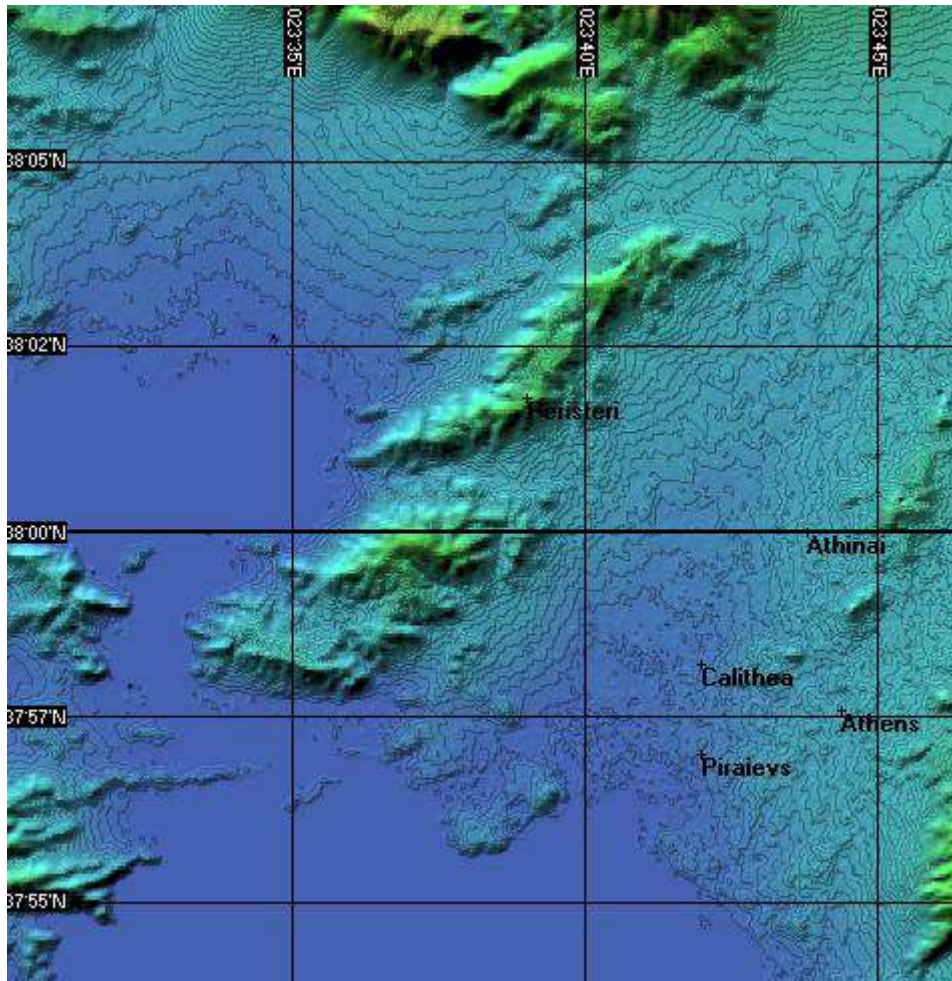


Εικόνα 8. 13: Edit

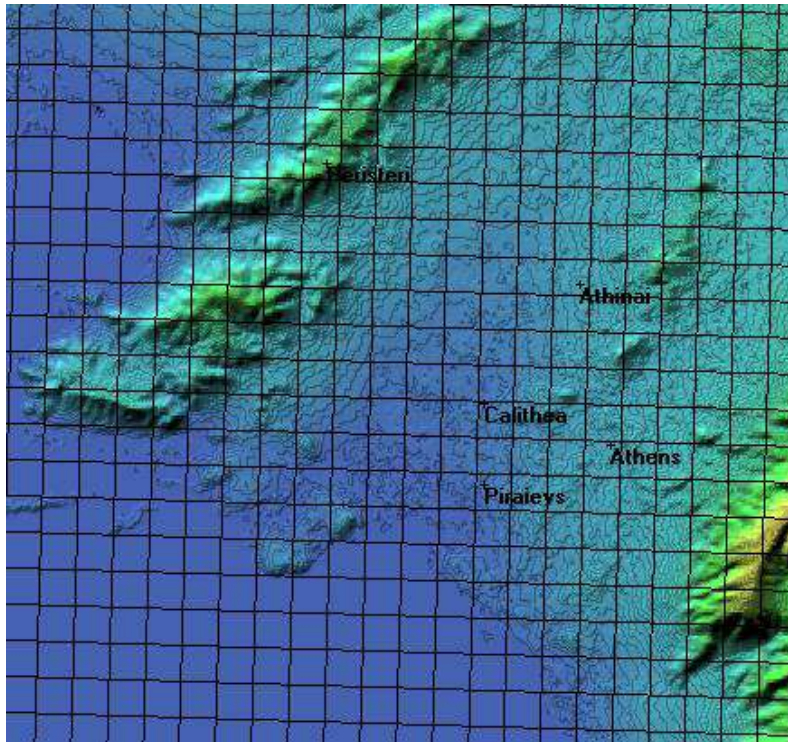
Η δεύτερη επιλογή από το μενού είναι το Edit. Με το Copy και το Paste, αντιγράφεται η εικόνα και εισάγεται η εικόνα που αντιγράφηκε, αντίστοιχα. Με το Paste as a new picture, δημιουργείται μία νέα εικόνα στην οποία εισάγεται το περιεχόμενο που αντιγράφηκε. Το Merge pictures επιλέγει μία πηγή εικόνας και την συγχωνεύει με την ενεργή εικόνα. Η πηγή αυτή μπορεί να είναι κάποια άλλη εικόνα, ένας οδικός χάρτης από το διαδίκτυο, μια αεροφωτογραφία, ένας τοπικός χάρτης ή ένας δορυφορικός χάρτης. Με το Draw grid, σχεδιάζεται ένα πλέγμα Lat – Lon, UTM ή QRA πάνω από την δισδιάστατη εικόνα.



Εικόνα 8. 14: Draw grid

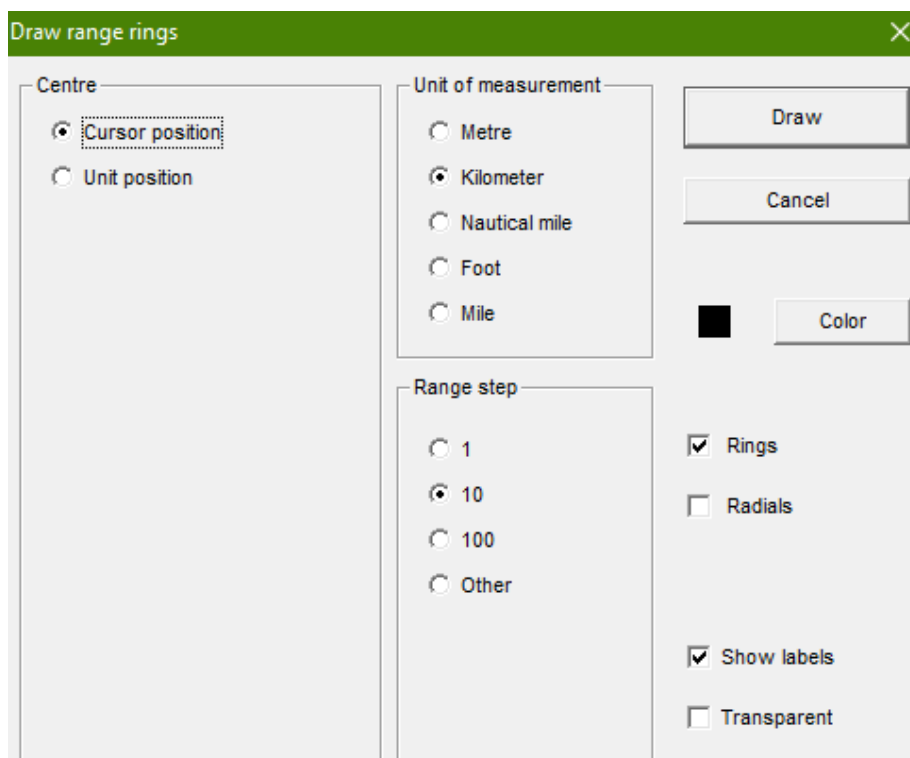


Εικόνα 8. 15: Draw grid - QRA



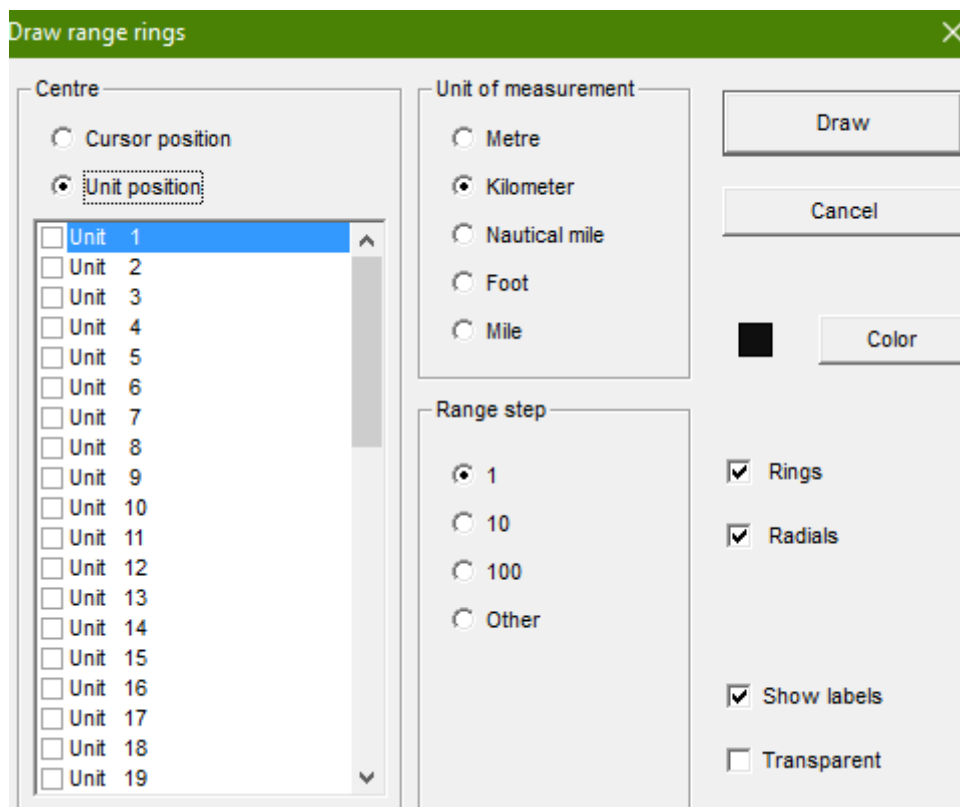
Εικόνα 8. 16: Draw grid - UTM

Με το Draw rings, σχεδιάζονται διακτύλιοι εύρους πάνω από μία δισδιάστατη εικόνα.



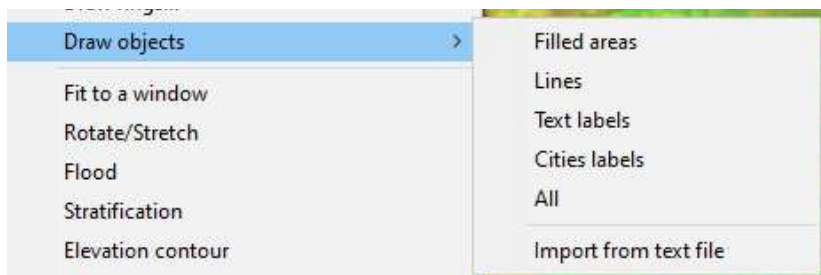
Εικόνα 8. 17: Draw rings

Με την επιλογή Cursor position, σχηματίζονται δακτύλιοι γύρω από την θέση που βρίσκεται ο κέρσορας.



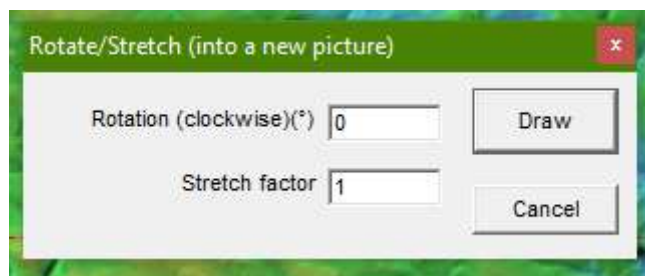
Εικόνα 8. 18: Draw rings - Unit position

Με την επιλογή Unit position, σχηματίζονται δακτύλιοι γύρω από την θέση μίας επιλεγμένης μονάδας. Στο πλαίσιο Unit of measurement επιλέγεται η μονάδα μέτρησης και στο πλαίσιο Range step, επιλέγεται η απόσταση μεταξύ των δακτυλίων. Υπάρχει, επίσης η δυνατότητα αλλαγής χρώματος των δακτυλίων και η προσθήκη ακτίνων και ετικετών. Με το Draw objects ανοίγει ένα άλλο πλαίσιο, από το οποίο επιλέγονται γραμμές, περιοχές, ετικέτες, πόλεις, για να προστεθούν στην ενεργή εικόνα.



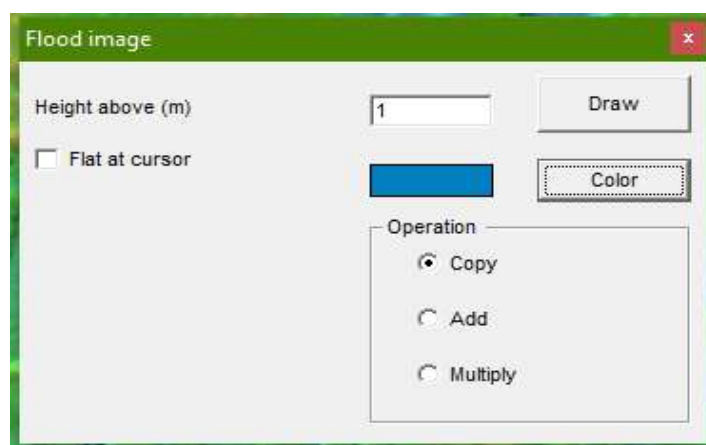
Εικόνα 8. 19: Draw objects

Με την επιλογή Fit to a window, δημιουργείται μία νέα εικόνα στην οποία αλλάζει το μέγεθος, για να ταιριάζει στο πραγματικό μέγεθος του παραθύρου. Το Rotate / Stretch ανοίγει ένα παράθυρο, στο οποίο επιλέγεται η γωνία περιστροφής και ο συντελεστής τεντώματος της εικόνας, για να δημιουργηθεί μία νέα εικόνα.



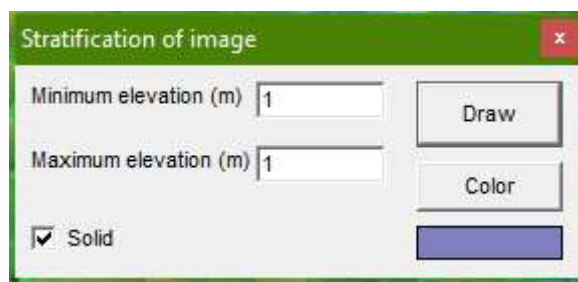
Εικόνα 8. 20: Rotate / Stretch

Με την επιλογή Flood, χρωματίζονται όλα τα εικονοστοιχεία του χάρτη που βρίσκονται γύρω από το σημείο του κέρσορα και έχουν το ίδιο ύψος.



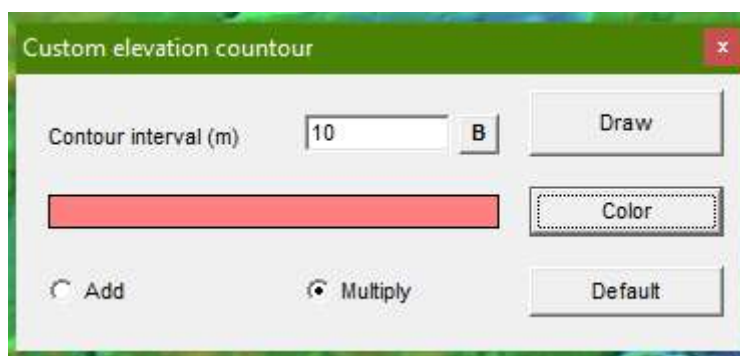
Εικόνα 8. 21: Flood

Με την επιλογή Stratification, χρωματίζεται ένα επίπεδο ανύψωσης που επιλέγεται από τον χρήστη.



Εικόνα 8. 22: Stratification

Με το Elevation contour, σχεδιάζεται ένα προσαρμοσμένο διάστημα περιγράμματος ανύψωσης. Με την επιλογή B, αλλάζει το πάχος της γραμμής. Επίσης, οι γραμμές μπορούν είτε να προστεθούν είτε να πολλαπλασιαστούν, με τις επιλογές add και multiply.



Εικόνα 8. 23: Elevation contour

Με την επιλογή Gray scale, η εικόνα μετατρέπεται σε gray scale (γκρίζα κλίμακα).



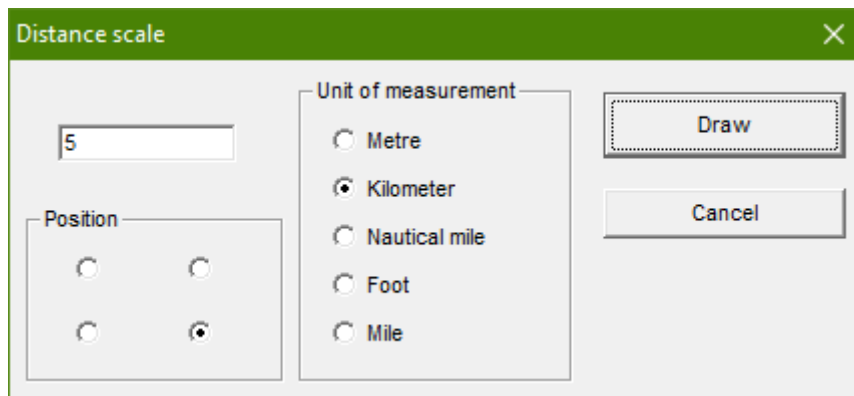
Εικόνα 8. 24: Gray scale

Με την επιλογή Shadow, τροποποιείται η εικόνα με σκοπό να σχεδιαστούν σκιές πίσω από τα βουνά. Στην επιλογή αυτή, ζητείται να οριστούν δύο παράμετροι, η γωνία ανύψωσης φωτός και ο συντελεστής μείωσης φωτός. Η γωνία ανύψωσης φωτός υπολογίζεται σε μοίρες και ο συντελεστής σε ποσοστό. Το 0% είναι διαφανές και το 100% είναι μαύρο.



Εικόνα 8. 25: Shadow

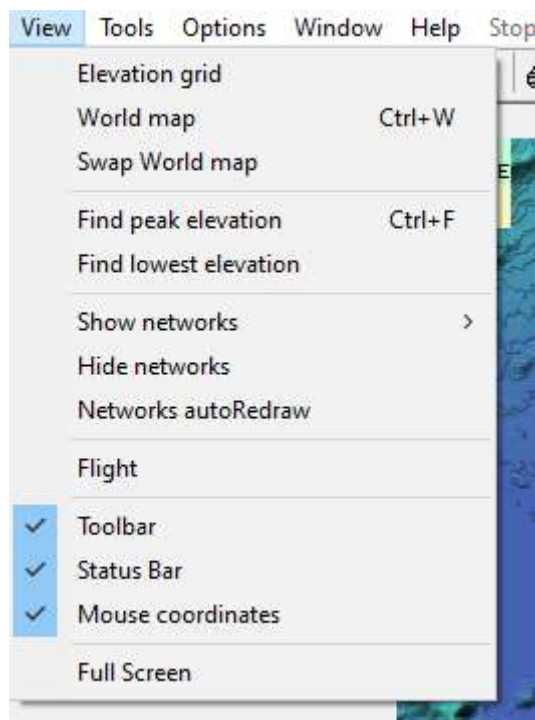
Με την επιλογή Redraw last legend, σχεδιάζεται ξανά η προηγούμενη επιλογή. Με το Distance scale προστίθεται μία κλίμακα απόστασης. Η θέση της κλίμακας μπορεί να είναι πάνω αριστερά, κάτω αριστερα, πάνω δεξιά και κάτω δεξιά.



Εικόνα 8. 26: Distance scale

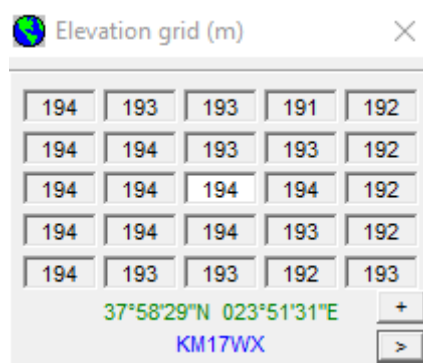
Με την επιλογή Corner coordinates, εμφανίζονται στις τέσσερις γωνίες της εικόνας οι συντεταγμένες. Με το Fit map to picture / selection, ανοίγει το παράθυρο του Map properties και σύμφωνα με την εικόνα του χάρτη, εξάγονται δεδομένα υψόμετρου. Αντίστοιχα, με το Fit map to units, εξάγονται δεδομένα υψόμετρου που ταιριάζουν σε όλες τις μονάδες, ανοίγωντας ξανά το παράθυρο του Map properties. Με το Orthorectify, σχεδιάζεται μία νέα εικόνα, η οποία θα μπορεί να προσαρμοστεί ακριβώς στον χάρτη. Τέλος, με το Projection σχεδιάζεται μία νέα εικόνα, η οποία έχει λιγότερη παραμόρφωση.

8.2.3: View



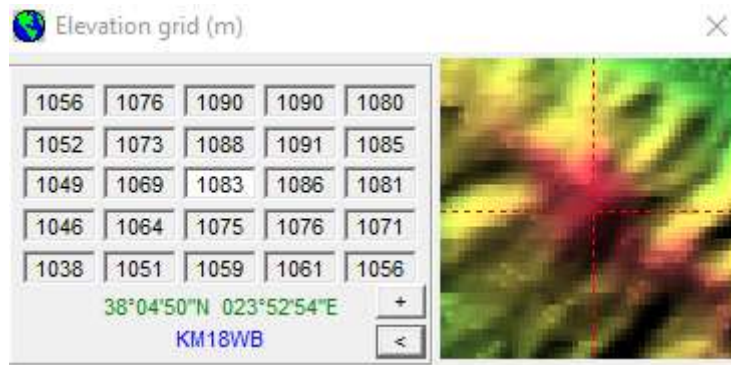
Εικόνα 8. 27: View

Η τρίτη επιλογή από το μενού είναι το View. Με το Elevation grid, εμφανίζονται εγγραφές δεδομένων ανύψωσης, στο σημείο που βρίσκεται ο κέρσορας.



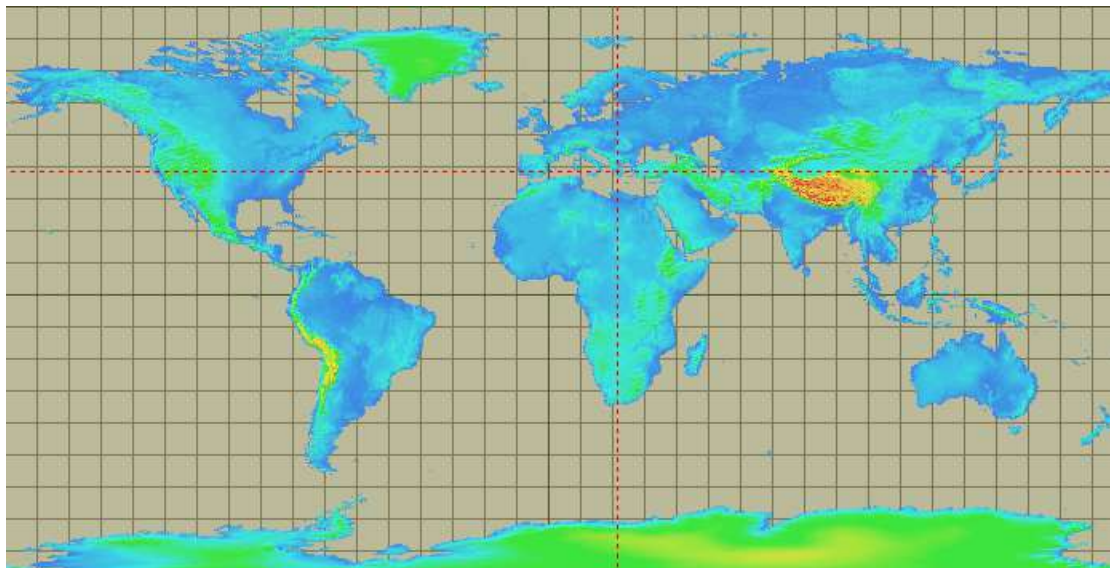
Εικόνα 8. 28: Elevation grid

Με το βελάκι που βρίσκεται κάτω δεξιά, εμφανίζεται δίπλα από τις εγγραφές, η περιοχή στην οποία αναφέρεται το πλέγμα ανύψωσης. Με το μετακινείται ο κέρσορας στο κέντρο της εικόνας του χάρτη.



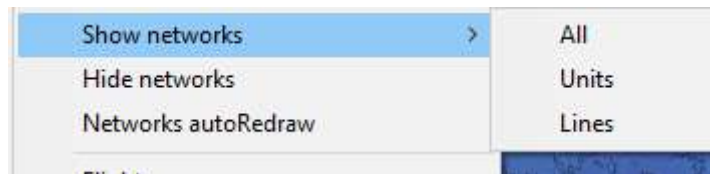
Εικόνα 8. 29: Elevation grid (1)

Με το World map και με το Swap world map ανοίγει ένα παράθυρο, το οποίο δείχνει την κάλυψη όλου του κόσμου και εναλλάσσεται μεταξύ αυτού και του προηγούμενου χάρτη.



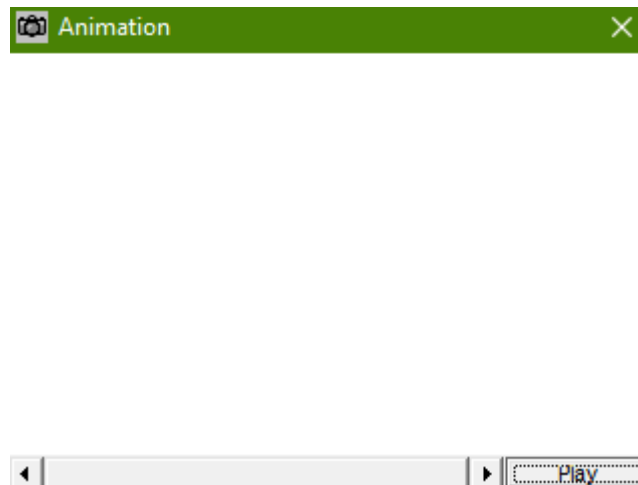
Εικόνα 8. 30: World map

Η επιλογή Find peak elevation βρίσκει αυτόματα, το σημείο στον χάρτη όπου η ανύψωση είναι η μέγιστη και τοποθετεί εκεί, τον κέρσορα. Αντίστοιχα, η επιλογή Find lowest elevation βρίσκει αυτόματα, το σημείο στον χάρτη όπου η ανύψωση είναι η ελάχιστη και τοποθετεί εκεί, τον κέρσορα. Η επιλογή Show networks εμφανίζει στον χάρτη, την απόδοση όλων των συνδέσμων και των μονάδων. Αντίστοιχα, το Hide networks αποκρύπτει την απόδοση όλων των συνδέσμων και των μονάδων.



Εικόνα 8. 31: Show networks

Το Networks autoRedraw επιλέγεται, με σκοπό να ανανεώνεται το σχέδιο δικτύου κατά την έξοδο από το Network properties. Η επιλογή Flight εμφανίζει την κίνηση πτήσης που δημιουργήθηκε τελευταία φορά, με το Radio link.



Εικόνα 8. 32: Flight

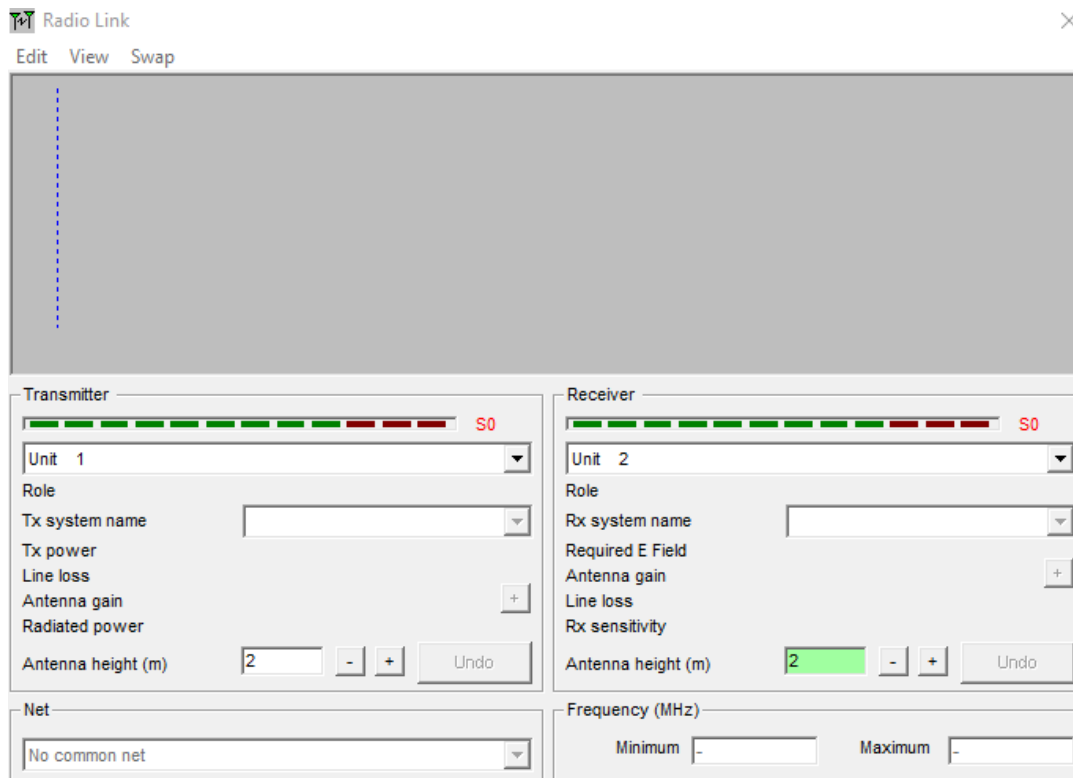
Το toolbar και το status bar είναι επιλεγμένα, για να εμφανίζονται τα εικονίδια στην γραμμή μενού και για να εμφανίζονται οι συντεταγμένες στην γραμμή κατάστασης, αντίστοιχα. Επίσης, το mouse coordinates είναι επιλεγμένο για να εμφανίζονται οι συντεταγμένες σε κάθε σημείο του χάρτη. Τέλος, με την επιλογή Full screen μεγενθύνεται η εικόνα του χάρτη.

8.2.4: Tools



Εικόνα 8. 33: Tools

Η τέταρτη επιλογή από το μενού είναι το Tools. Με την επιλογή Radio link γίνεται η ανάλυση ενός ραδιοφωνικού συνδέσμου από σημείο σε σημείο.



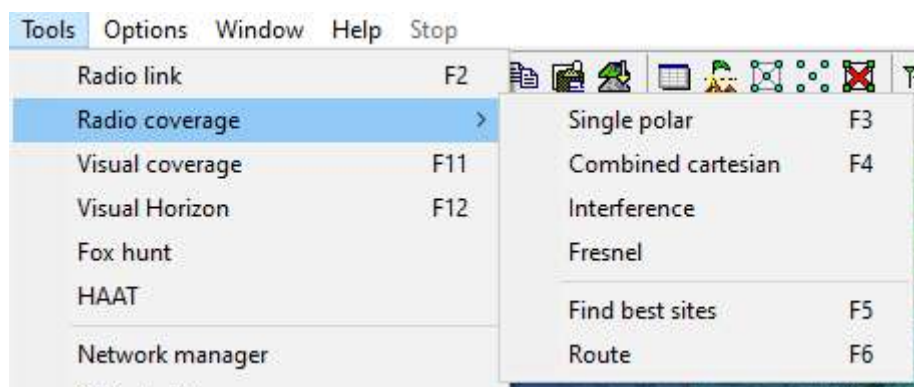
Εικόνα 8. 34: Radio link

Αριστερά, περιγράφεται η λειτουργία του πομπού και δεξιά η λειτουργία του δέκτη. Στην αριστερή πλευρά, στο πλαίσιο Unit επιλέγεται η μονάδα μετάδοσης. Ακριβώς από κάτω, στο Role εμφανίζεται ο ρόλος που έχει η μονάδα και ορίζεται στο Network properties. Στη συνέχεια, στο Tx system name επιλέγεται το όνομα του συστήματος της μονάδας. Στο Tx power εμφανίζεται η ισχύς του πομπού και εκφράζεται σε dB ή watts. Στο Line loss εμφανίζεται η απώλεια που προκύπτει μεταξύ του πομπού και της κεραίας της μονάδας μετάδοσης. Το Antenna gain δείχνει το κέρδος της κεραίας και το Radiated power, την ακτινοβολημένη ισχύ. Τέλος, στο Antenna height ορίζεται το ύψος της κεραίας.

Στην δεξιά πλευρά, που περιγράφεται η λειτουργία του δέκτη, το Unit, το Role και το Rx system name, λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο όπως και προηγουμένως. Το Require E field δείχνει το πραγματικό μήκος πεδίου, που απαιτείται στην κεραία. Υπολογίζεται με βάση το Rx sensitivity, το line loss και το antenna gain. Το Rx sensitivity δείχνει την ευαισθησία του δέκτη σε uV και dB. Τέλος, το antenna gain, το line loss και το antenna height, λειτουργούν και αυτά με τον ίδιο τρόπο, όπως και στον πομπό.

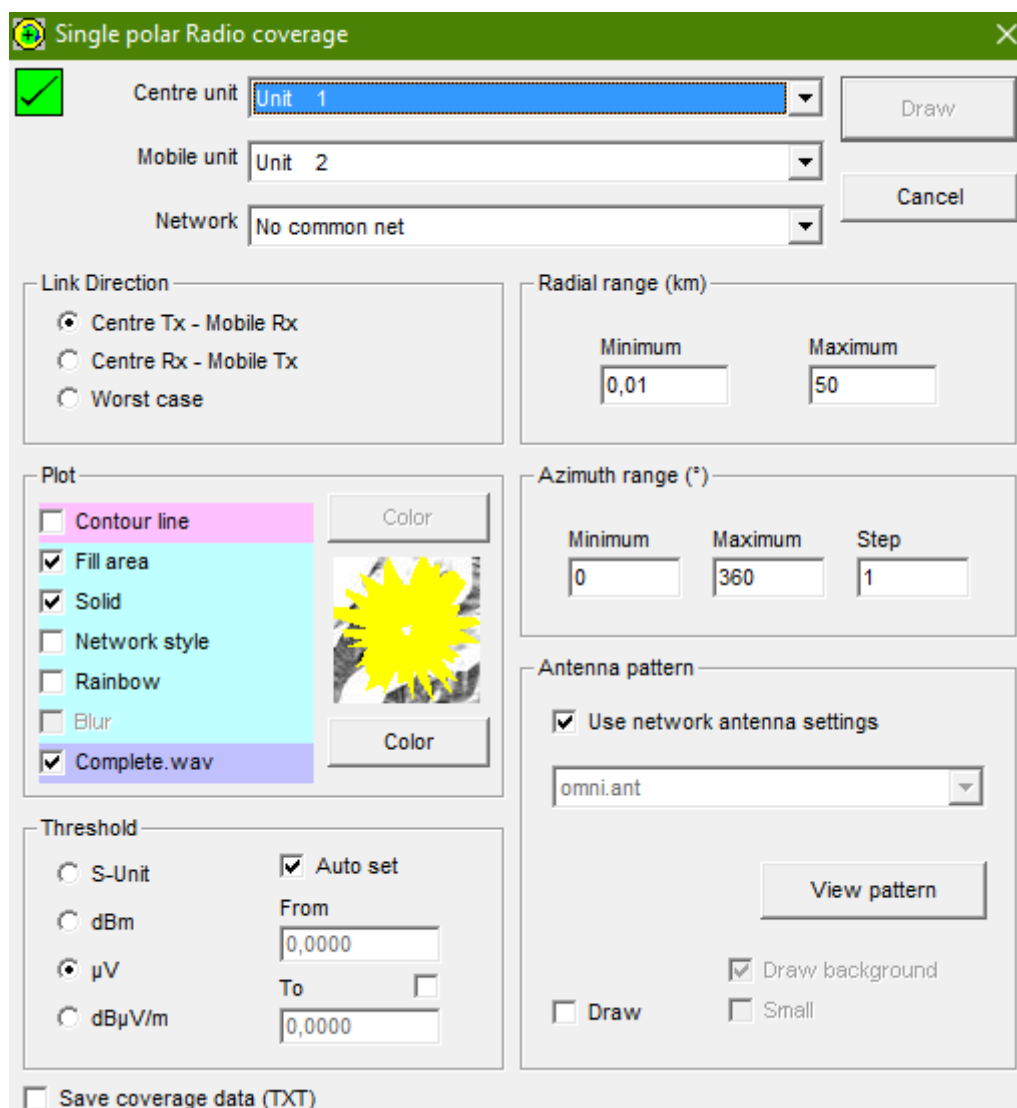
Στο πλαίσιο Net απεικονίζεται το δίκτυο, στο οποίο ανήκουν ο πομπός και ο δέκτης. Στο πλαίσιο Frequency αναγράφεται η συχνότητα, η οποία ορίστηκε στο Network Properties.

Στη συνέχεια, βρίσκεται το Radio coverage, το οποίο αναλύει την κάλυψη ενός ραδιοφωνικού δικτύου.





Εικόνα 8. 35: Radio coverage

Το Single polar δείχνει την κάλυψη ενός πομπού, χρησιμοποιώντας πολική συντεταγμένη.

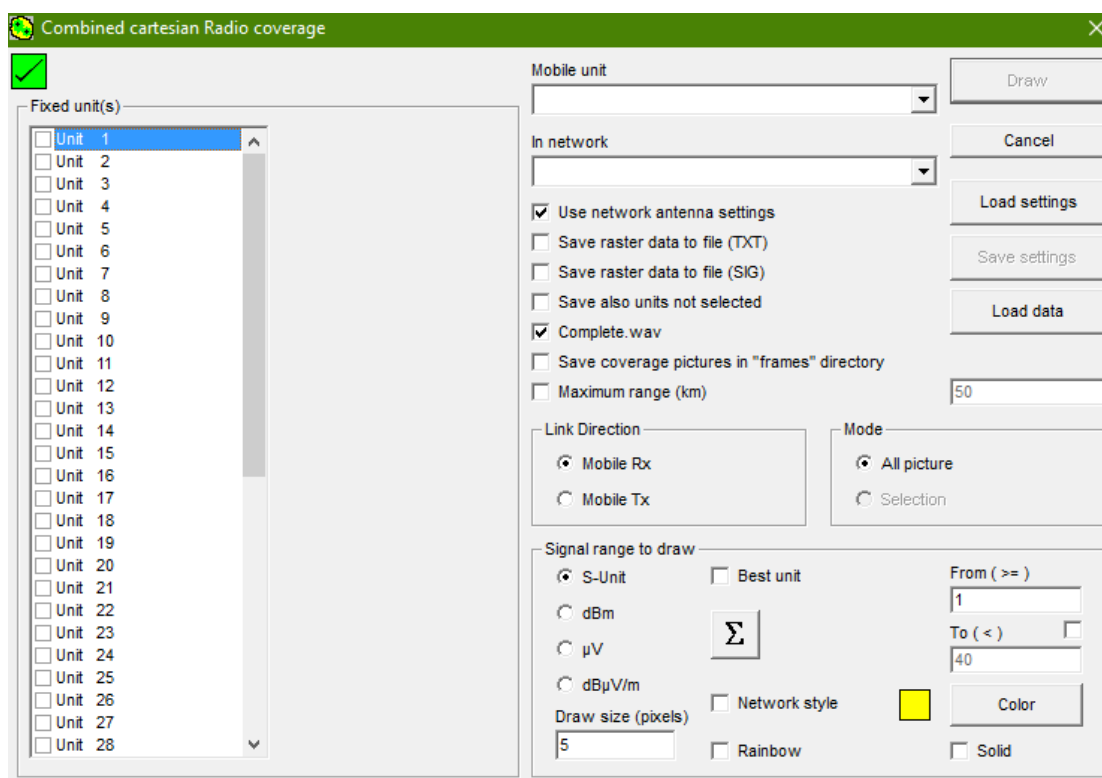


Εικόνα 8. 36: Single polar

Πάνω αριστερά εμφανίζεται το , το οποίο δηλώνει ότι το clutter είναι ενεργοποιημένο. Αντίθετα, εάν εμφανιζόταν το , θα σήμαινε ότι το clutter δεν είναι ενεργοποιημένο. Στα πλαίσια Centre unit, Mobile unit και Network, επιλέγονται αντίστοιχα η κεντρική μονάδα, η κινητή μονάδα και το δίκτυο στο οποίο θα ανήκουν οι δύο μονάδες. Στο πλαίσιο Link direction, επιλέγεται η διαδρομή υπολογισμού. Στο πλαίσιο Plot, διαμορφώνεται ο τρόπος που θα παρουσιαστεί το αποτέλεσμα. Στο Threshold ορίζεται ο τρόπος, με τον οποίο θα εκφραστεί το αποτέλεσμα. Μπορεί να πάρει τέσσερις τιμές, τις S – Unit, dBm, µV και dBµV / m. Στο πλαίσιο Radial range, ορίζεται η ακτινική εμβέλεια από το αντικείμενο που αναλύεται. Στη συνέχεια, στο

πλαίσιο Azimuth range, ορίζεται η γωνία ανοίγματος, που δημιουργήθηκε λόγω της ακτινικής εμβέλειας. Τέλος, στο Antenna pattern επιλέγεται η κεραία που εφαρμόζεται στην μονάδα.

Η δεύτερη επιλογή στο Radio coverage, είναι το Combined Cartesian. Σύμφωνα με αυτό, η επιφάνεια της εικόνας του χάρτη, καλύπτεται με τετράγωνα, μεταβλητού μεγέθους pixel.

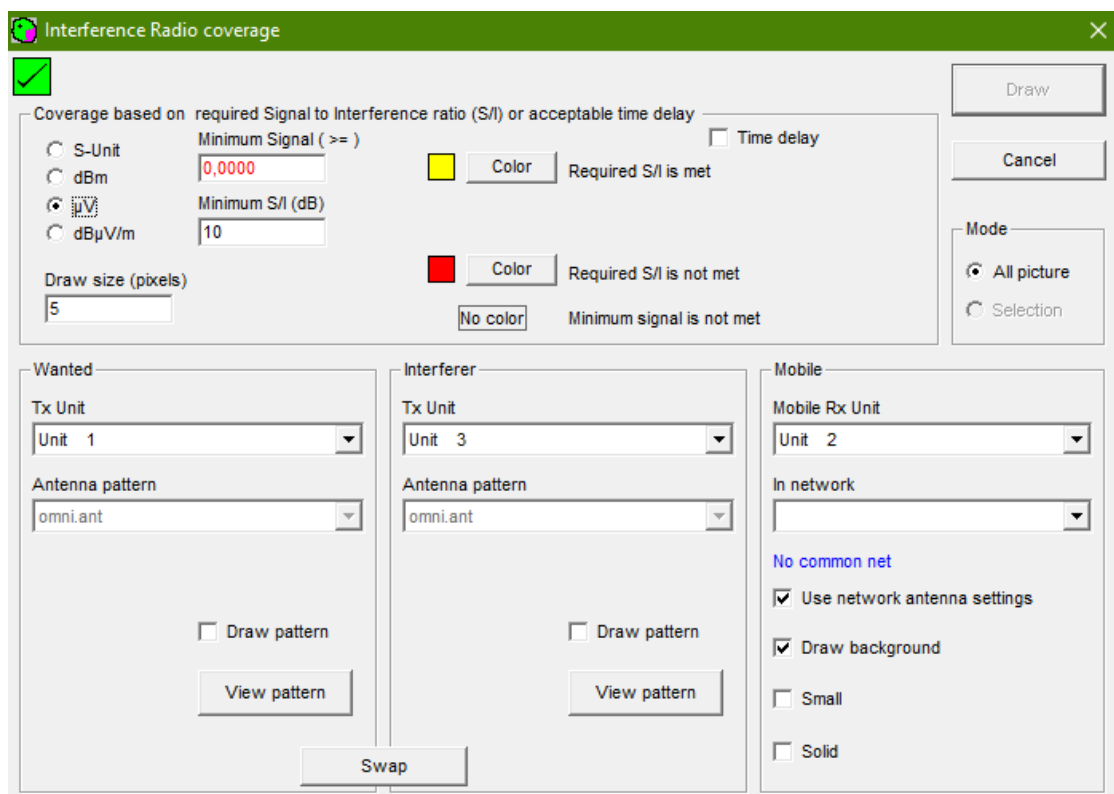


Εικόνα 8. 37: Combined cartesian

Αρχικά, πάνω αριστερά εμφανίζεται ξανά η πράσινη ένδειξη, για την οποία ισχύει ό,τι αναφέρθηκε προηγουμένως. Στο πλαίσιο Fixed units, εμφανίζονται οι μονάδες από τις οποίες επιλέγεται, ποια θα συμπεριληφθεί στην καρτεσιανή ανάλυση κάλυψης. Στο πλαίσιο mobile unit επιλέγεται η κινητή μονάδα και στο In network, επιλέγεται το δίκτυο στο οποίο θα ανήκουν και οι δύο μονάδες. Στο Link direction υπάρχουν δύο επιλογές, το Mobile Rx και Mobile Tx, για να επιλεγεί η διαδρομή υπολογισμού. Στο πλαίσιο Signal range to draw, αρχικά επιλέγεται ο τρόπος με τον οποίο θα εκφραστεί το αποτέλεσμα της ανάλυσης. Μπορεί να πάρει τέσσερις τιμές, τις S – Unit, dBm, μV και dB μV / m. Με το Draw size ορίζονται τα pixels της μονάδας, στα οποία το Radio

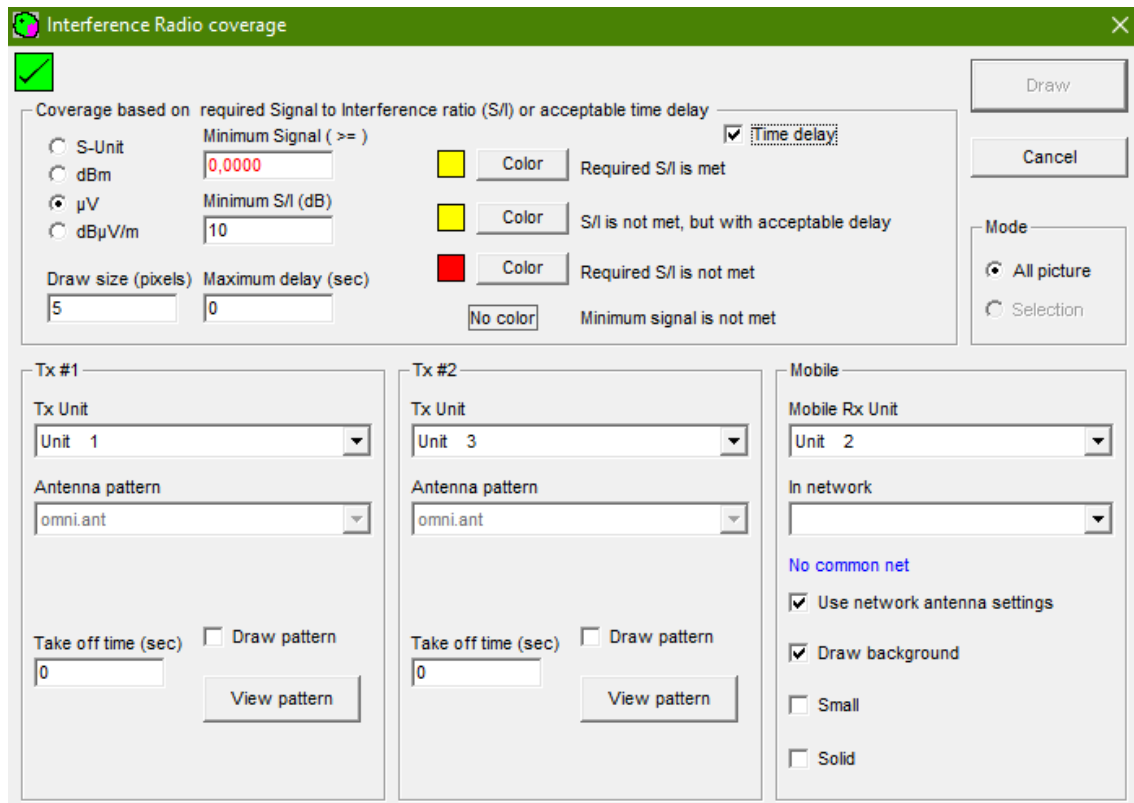
Mobile θα υπολογίσει τη διαδρομή. Με την επιλογή Rainbow, το αποτέλεσμα της κάλυψης θα είναι χρωματισμένο. Εάν το Solid είναι επιλεγμένο, τότε το αποτέλεσμα δεν θα είναι διαφανές. Το Network style εμφανίζει το αποτέλεσμα σε μορφή δικτύου, εάν επιλεγθεί. Το Best unit εμφανίζει το χρώμα που αντιπροσωπεύει τον καλύτερο διακομιστή. Τέλος, με το σύμβολο Σ εμφανίζει το συνολικό άθροισμα ισχύος.

Η τρίτη επιλογή στο Radio coverage, είναι το Interference. Το Radio Mobile σε αυτή την επιλογή, μελετάει την χρονική καθυστέρηση μεταξύ του επιθυμητού σήματος και του ανεπιθύμητου σήματος, που παρεμβάλεται.



Εικόνα 8. 38: Interference

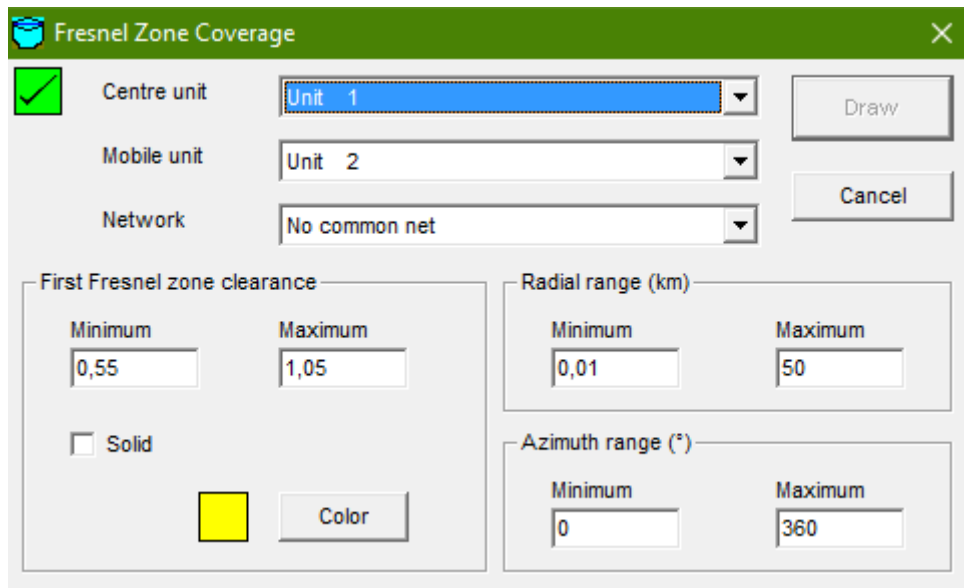
Όταν επιλέγεται το Time delay, τότε λαμβάνεται υπόψιν η χρονική καθυστέρηση που υπάρχει μεταξύ του επιθυμητού σήματος και του σήματος που παρεμβάλεται.



Εικόνα 8. 39: Interference with Time delay

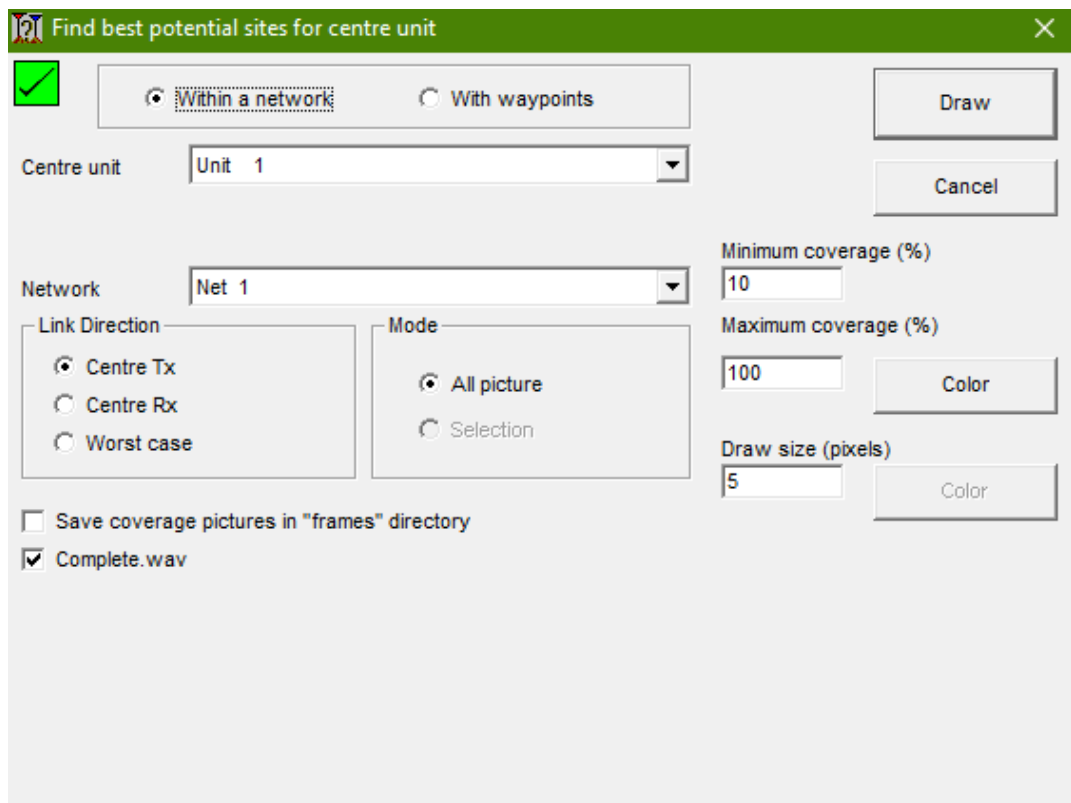
Αρχικά, πάνω αριστερά εμφανίζεται ξανά η πράσινη ένδειξη, για την οποία ισχύει ό,τι αναφέρθηκε προηγουμένως. Στο πλαίσιο Coverage based on required Signal to Interference ratio or acceptable time delay, επιλέγεται ο τρόπος με τον οποίο θα εκφραστεί το αποτέλεσμα της ανάλυσης. Μπορεί να πάρει τέσσερις τιμές, τις S – Unit, dBm, μV και $\text{dB}\mu\text{V} / \text{m}$. Στο Minimum signal επιλέγεται το ελάχιστο σήμα που μπορεί να ληφθεί από τον δέκτη. Στο Minimum S / I ορίζεται η ελάχιστη καθυστέρηση, που πρέπει να υπάρχει μεταξύ των σημάτων, για την σωστή λήψη. Στο Maximum delay ορίζεται η ελάχιστη καθυστέρηση μεταξύ της μονάδας 1 και της μονάδας 2. Στα πλαίσια Tx #1 (Wanted signal) και Tx #2 (Interferer signal), αρχικά επιλέγεται η μονάδα. Στη συνέχεια, εμφανίζεται ο τύπος της κεραίας της κάθε μονάδας. Τέλος, στο πλαίσιο Mobile, επιλέγεται η κινητή μονάδα και το δίκτυο.

Η τέταρτη επιλογή στο Radio coverage είναι το Fresnel zone coverage, όπου επιλέγεται η πρώτη ζώνη Fresnel.



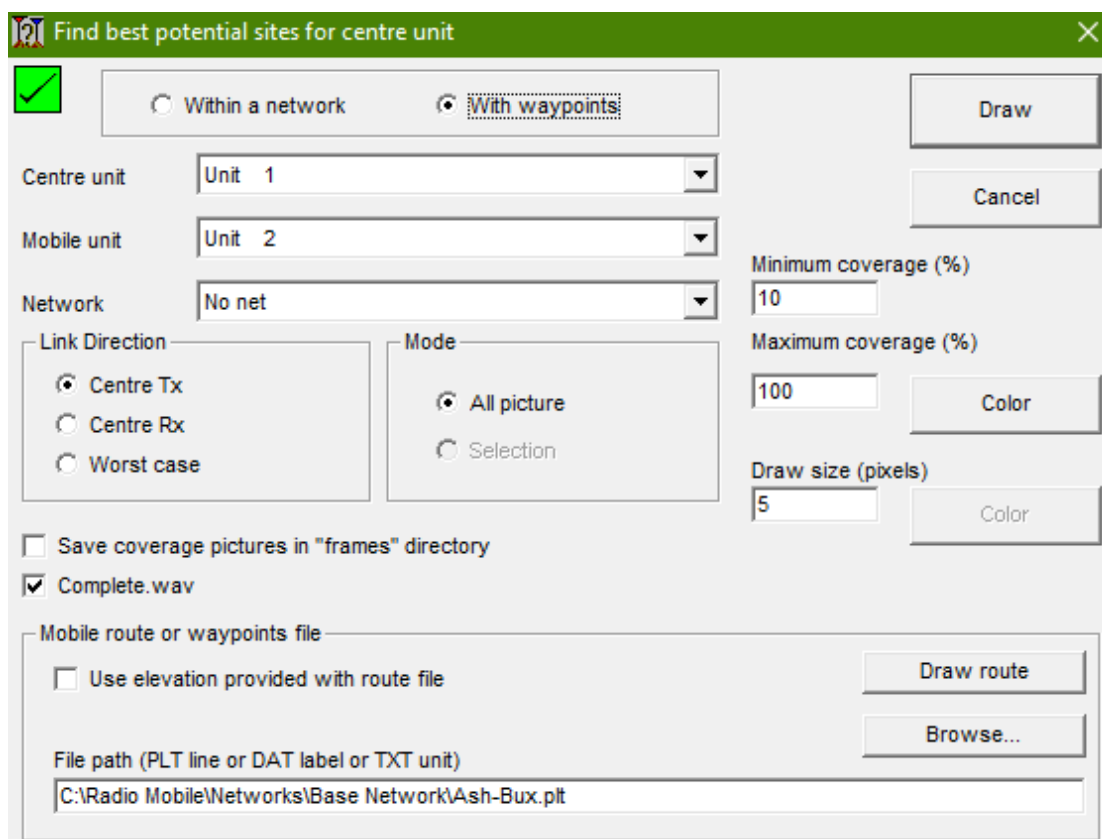
Εικόνα 8. 40: Fresnel zone coverage

Η πέμπτη επιλογή στο Radio coverage είναι το Find best potential sites for centre unit. Με αυτή την λειτουργία προσδιορίζεται η καλύτερη δυνατή θέση, για έναν ραδιοφωνικό σταθμό.



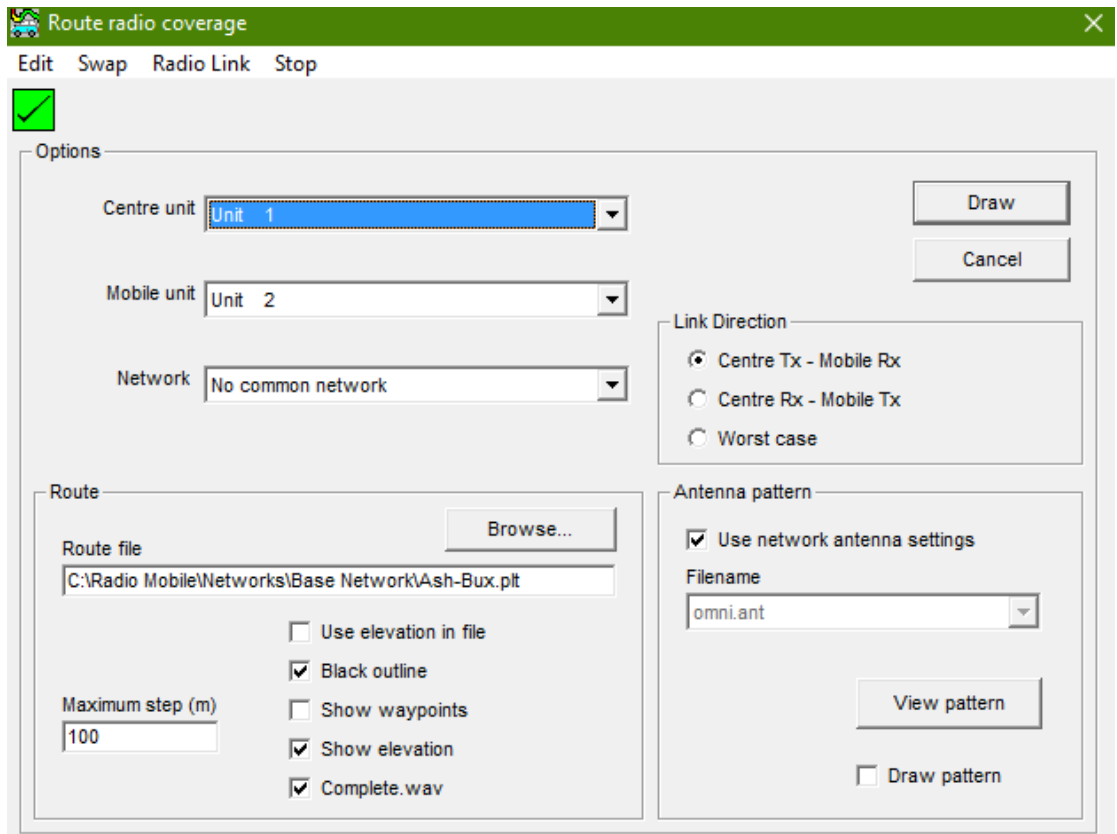
Εικόνα 8. 41: Find best potential sites for centre unit

Στο Centre unit και στο Network, ορίζονται η κεντρική μονάδα και το δίκτυο αντίστοιχα. Αν επιλεγεί το with waypoints, τότε η καλύτερη τοποθεσία μπορεί να οριστεί με ένα αρχείο σημείου.



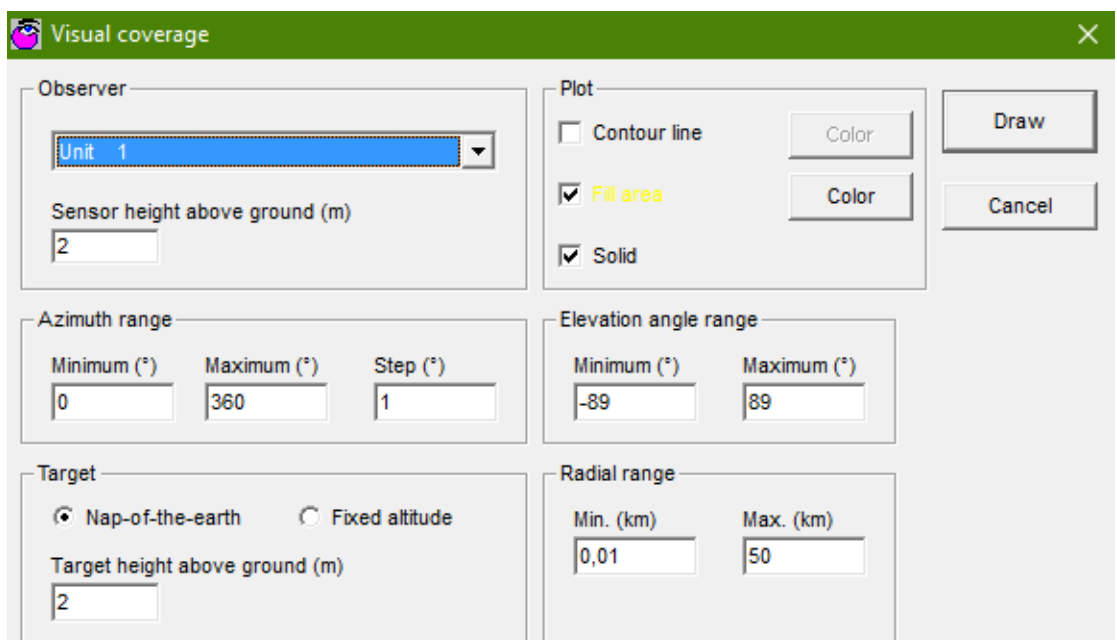
Εικόνα 8. 42: Find best potential sites for centre unit with waypoints

Η τελευταία επιλογή στο Radio coverage είναι το Route radio coverage. Η επιλογή αυτή, αναλύει την κάλυψη μίας δεδομένης διαδρομής. Στο Centre Unit, στο Mobile Unit και στο Network, ορίζονται η κεντρική μονάδα, η κινητή μονάδα και το δίκτυο που θα περιλαμβάνει και τις δύο μονάδες, αντίστοιχα. Στο πλαίσιο Route, επιλέγεται το αρχείο που περιέχει την διαδρομή, η οποία θα αναλυθεί. Το Maximum step, ορίζει την ελάχιστη απόσταση μεταξύ των σημείων, στα οποία θα σχεδιαστεί η γραμμή διάδοσης. Στο Link direction, που έχει ως επιλογές τα Centre Tx – Mobile Rx, Centre Rx – Mobile Tx και Worst Case, επιλέγεται η διαδρομή που θα αναλυθεί. Τέλος, στο Antenna pattern εμφανίζεται ο τύπος της κεραίας.



Εικόνα 8. 43: Route radio coverage

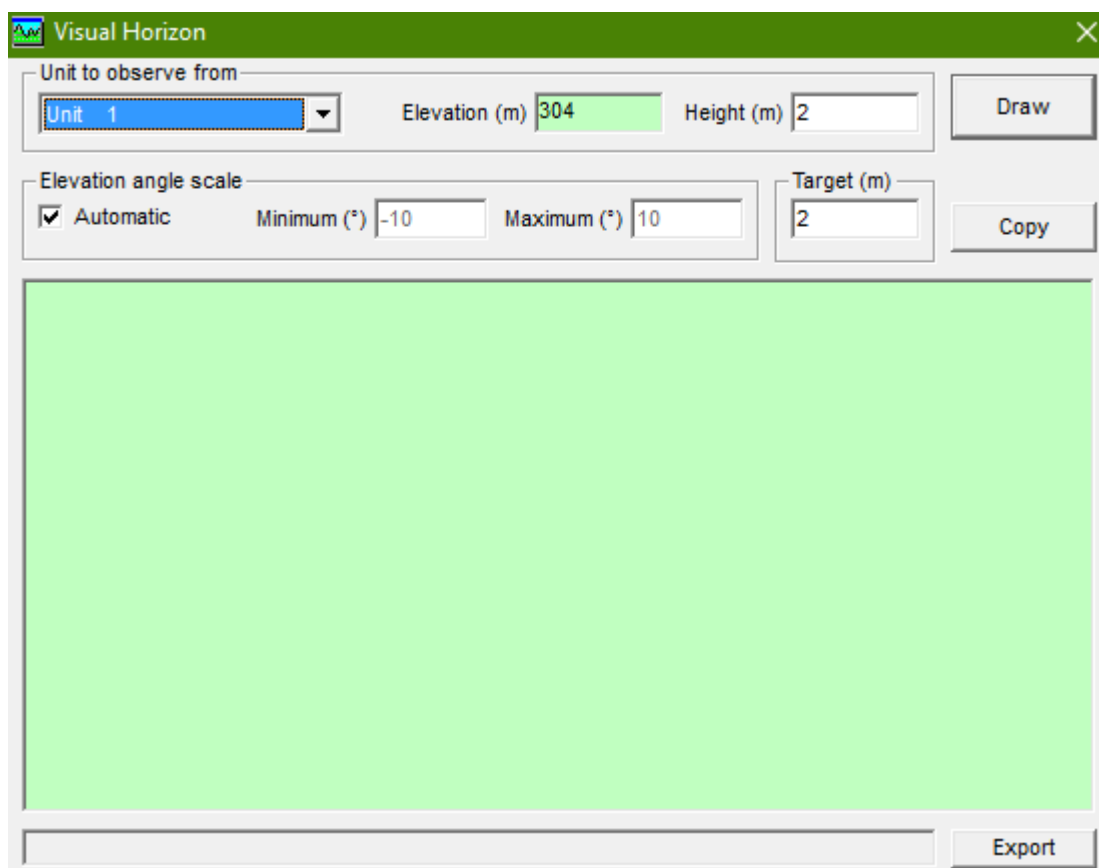
Μετά το Radio coverage στο Tools, βρίσκεται το Visual coverage, το οποίο χρησιμοποιείται για σχεδίαση οπτικής κάλυψης.



Εικόνα 8. 44: Visual Coverage

Στο πλαίσιο Observer, ορίζεται το ύψος του αντικειμένου πάνω από το έδαφος. Στο πλαίσιο Azimuth range, ορίζεται η οριζόντια γωνία ανοίγματος και ο αριθμός των βημάτων μεταξύ του minimum και του maximum. Στο πλαίσιο Target, ορίζεται το ύψος του στόχου πάνω από το επίπεδο του εδάφους. Στο Plot καθορίζεται ο τρόπος με τον οποίο θα εμφανιστεί η κάλυψη. Στο Elevation angle range εμφανίζεται η κάθετη γωνία ανοίγματος και στο Radial range, η απόσταση από το αντικείμενο που αναλύεται.

Στη συνέχεια βρίσκεται το Visual Horizon, το οποίο χρησιμοποιείται για την σχεδίαση οπτικού ορίζοντα.

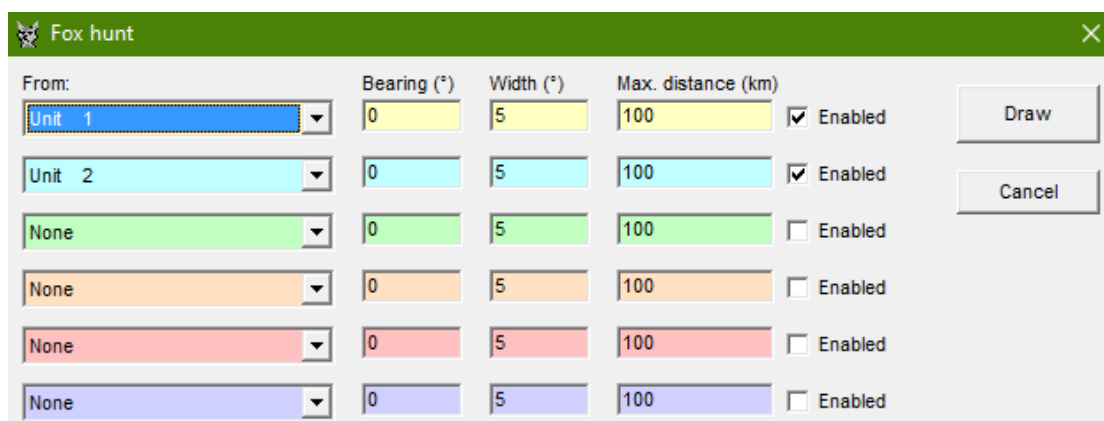


Εικόνα 8. 45: Visual Horizon

Στο πλαίσιο Unit to observe from, προσδιορίζεται το υψόμετρο του εδάφους, στο Elevation και το ύψος πάνω από το έδαφος της κεραίας της μονάδας, στο Height. Στο πλαίσιο Elevation angle scale, προσδιορίζεται η γωνία ανύψωσης.

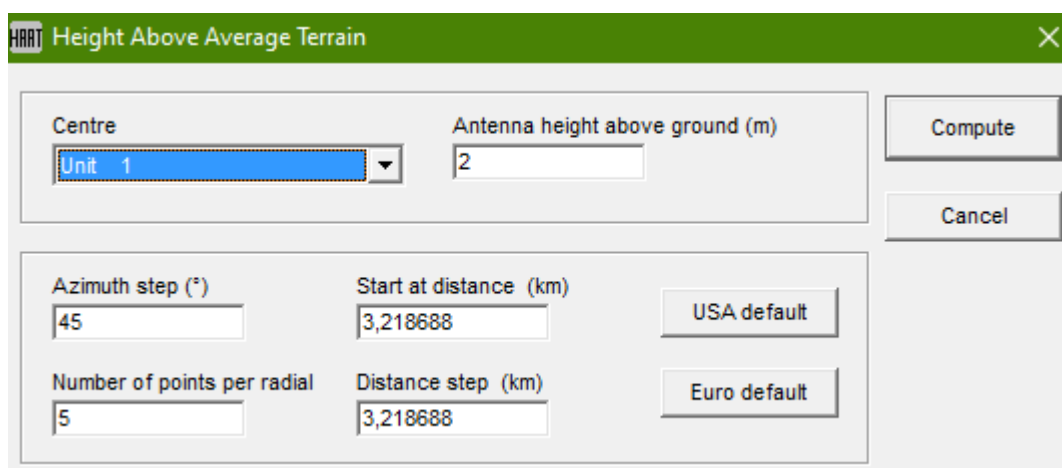
Με την επιλογή Fox hunt που βρίσκεται στη συνέχεια, σχεδιάζονται οι σχέσεις μέχρι και πέντε τοποθεσιών μονάδων. Στο From επιλέγεται η μονάδα και στο Bearing, ορίζεται η μονάδα σε μοίρες. Στο Width ορίζεται το πλάτος της δέσμης, το οποίο

εκφράζει την ακρίβεια της μέτρησης και το μέγιστο είναι 150 μοίρες. Τέλος, το Max distance περιορίζει την μέγιστη απόσταση κατά την σχεδίαση.



Εικόνα 8. 46: Fox hunt

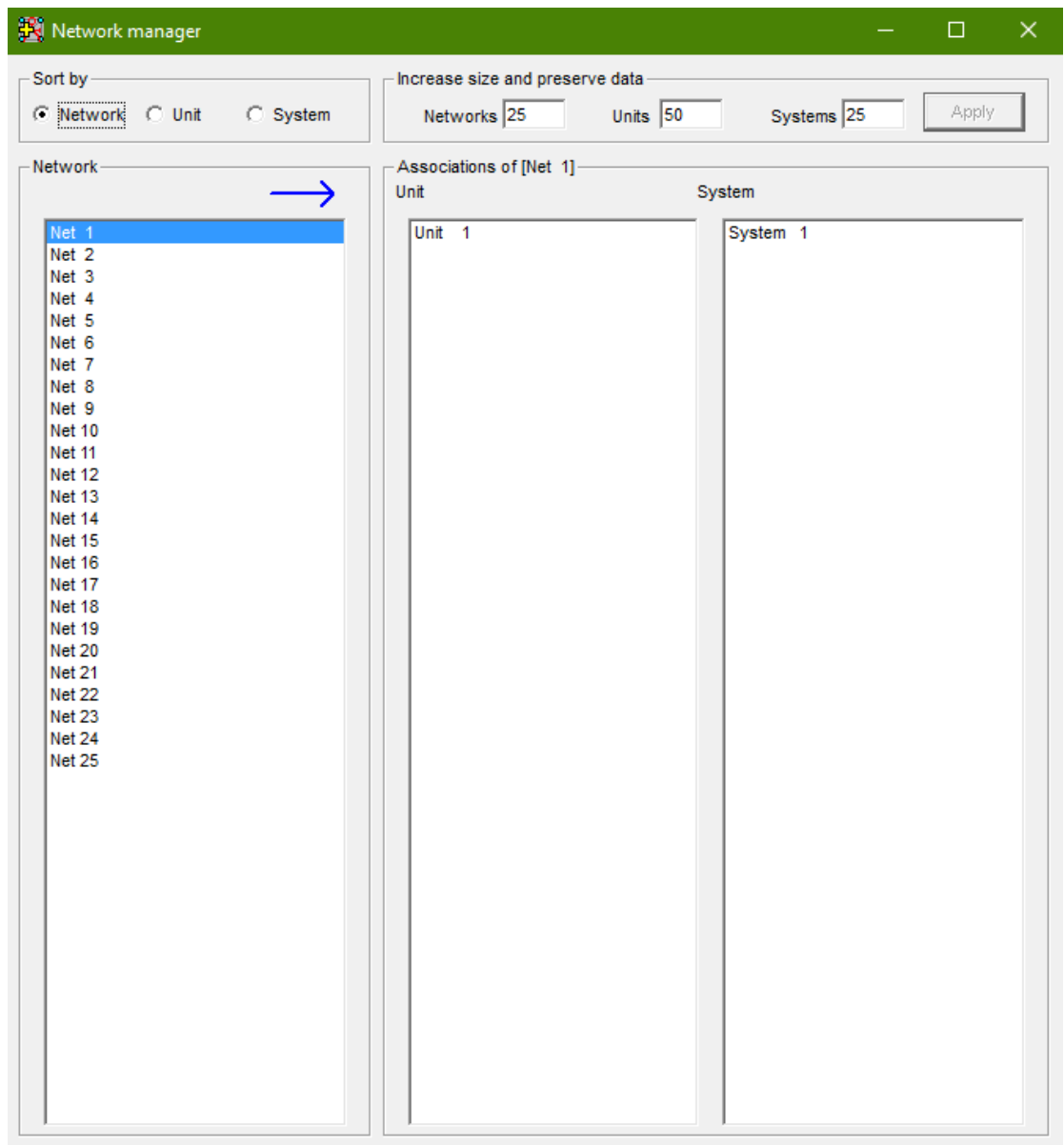
Η επιλογή HAAT (Height above average terrain) υπολογίζει το ύψος μίας επιλεγμένης μονάδας, πάνω από το μέσο έδαφος.



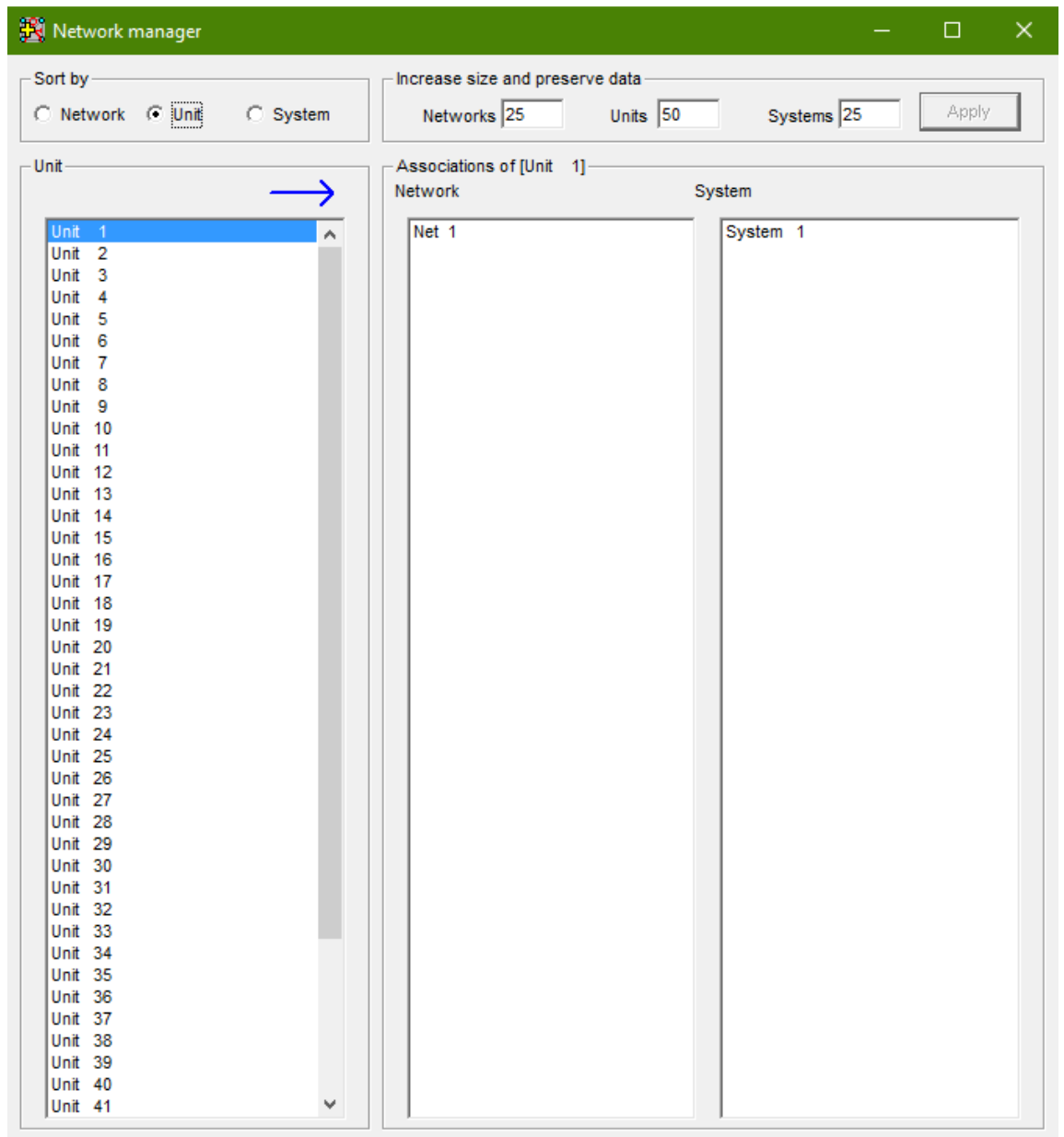
Εικόνα 8. 47: HAAT

Ορίζεται αρχικά η μονάδα που θα είναι το κέντρο στον υπολογισμό, στο πλαίσιο Centre. Στο Antenna height above ground, προσδιορίζεται το ύψος της κεραίας πάνω από το έδαφος. Στη συνέχεια, ορίζονται τα χαρακτηριστικά για τον υπολογισμό του HAAT. Αυτά είναι το Azimuth step, για τον ορισμό του βήματος στο οποίο πρέπει να χρησιμοποιούνται τα ακτινικά, το Number of points per radial, για τον προσδιορισμό του αριθμού υψών που λαμβάνονται στο ακτινικό. Επίσης, είναι το Start at distance, για τον ορισμό της απόστασης στην οποία προσδιορίζεται το πρώτο ύψος, καθώς και το Distance step, το οποίο παράγει το αποτέλεσμα.

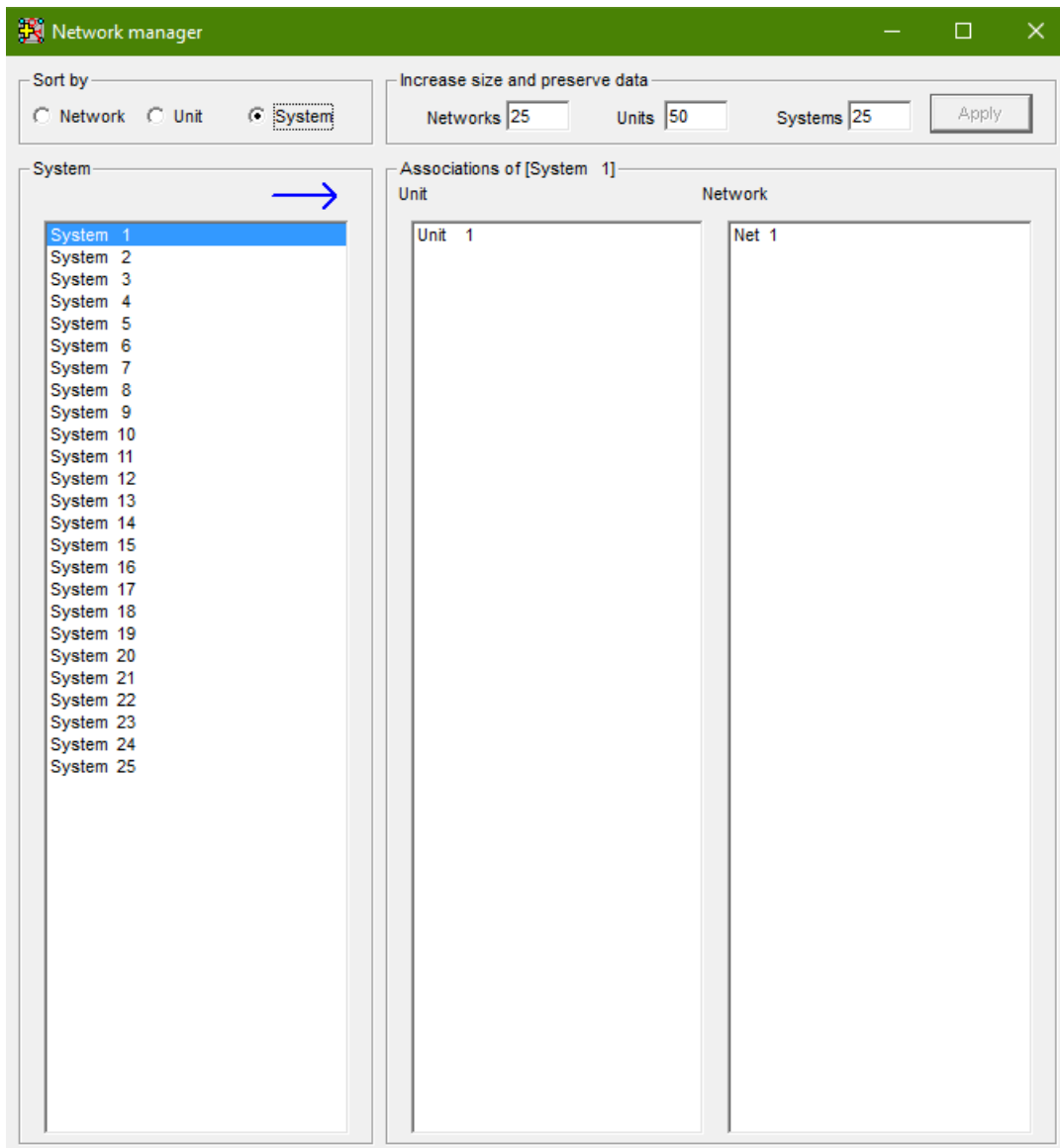
Στη συνέχεια, βρίσκεται το Network manager, το οποίο απεικονίζει την σχέση που έχουν τα στοιχεία του δικτύου. Η σχέση αυτή μπορεί να απεικονιστεί, με βάση την ταξινόμηση κατά δίκτυο, κατά μονάδα και κατά σύστημα.



Εικόνα 8. 48: Network manager - Sort by network

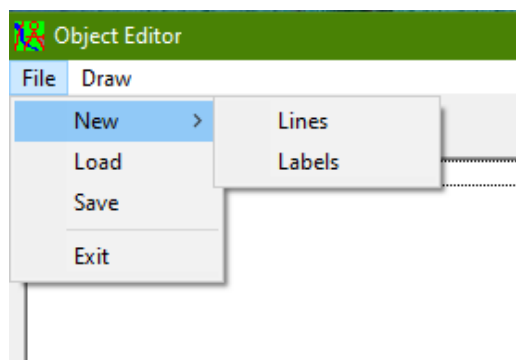


Εικόνα 8. 49: Network manager - Sort by unit



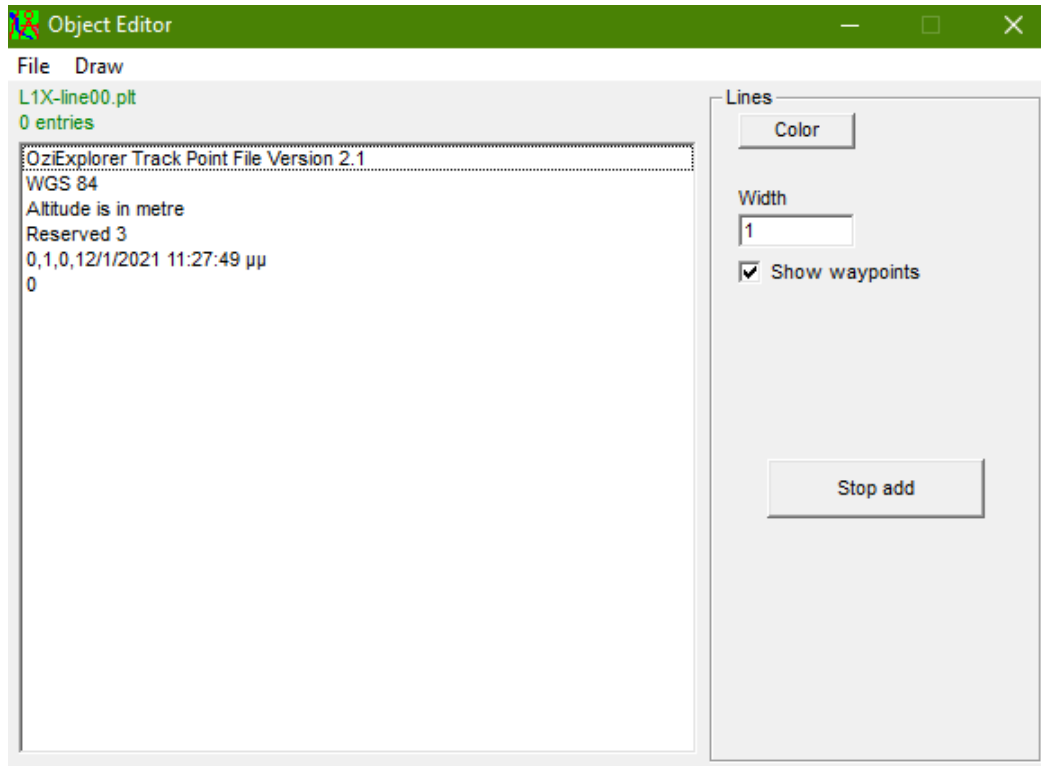
Εικόνα 8. 50: Network manager - Sort by system

Το Object editor χρησιμοποιείται για την επεξεργασία αρχείων αντικειμένων.

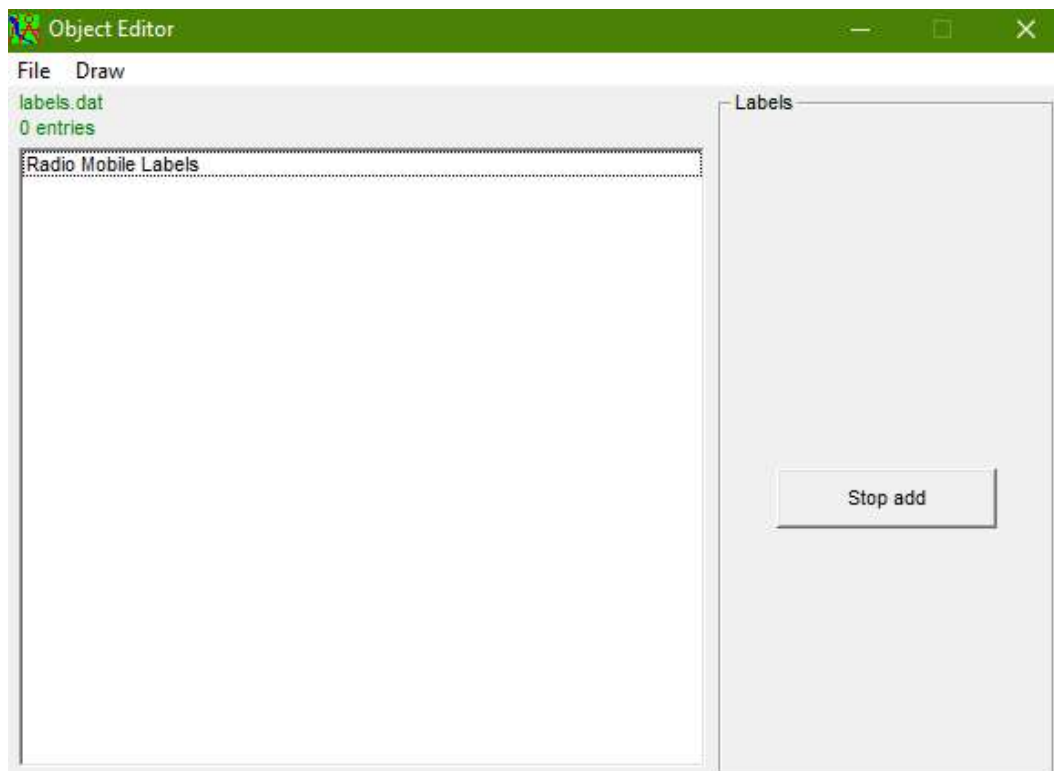


Εικόνα 8. 51: Object Editor

Το File από το μενού χειρίζεται τα αρχεία και επιλέγει μεταξύ χειρισμού αντικειμένων γραμμής και χειρισμού αντικειμένων ετικέτας.

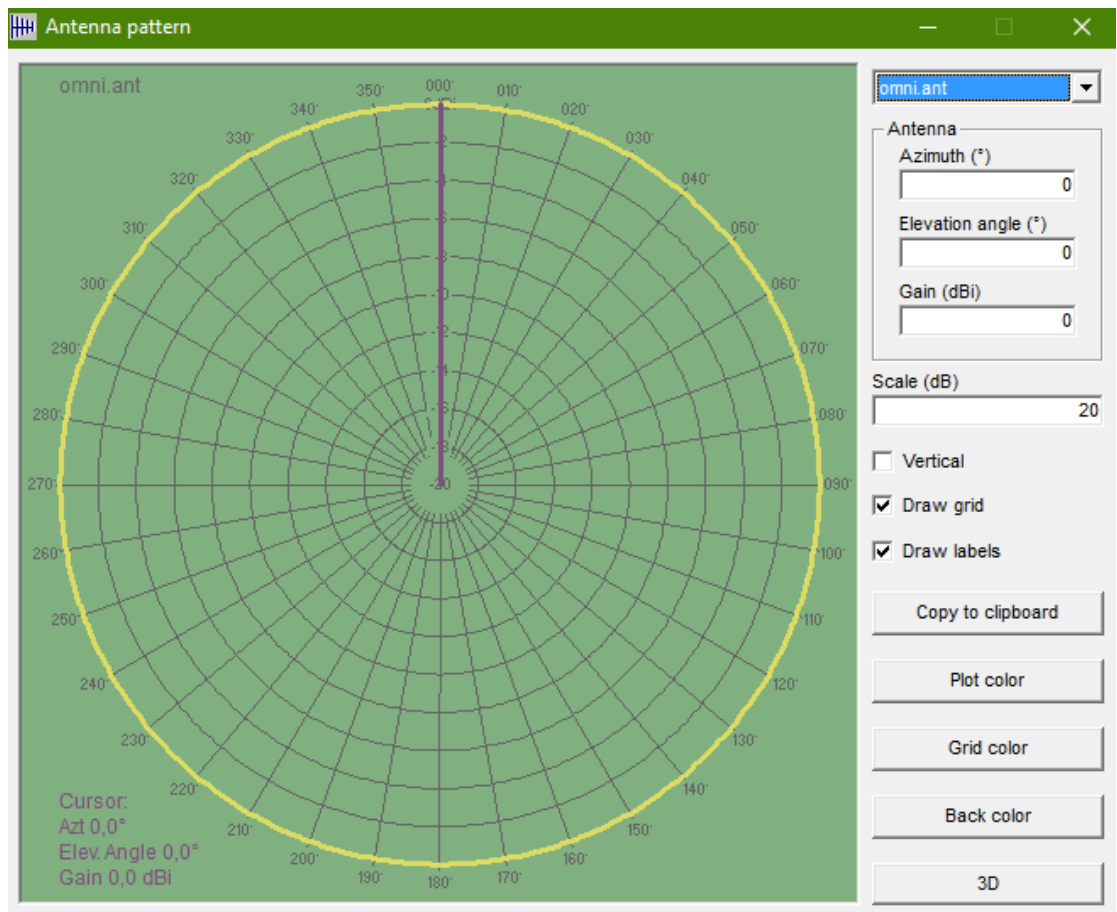


Εικόνα 8. 52: Object Editor – Lines



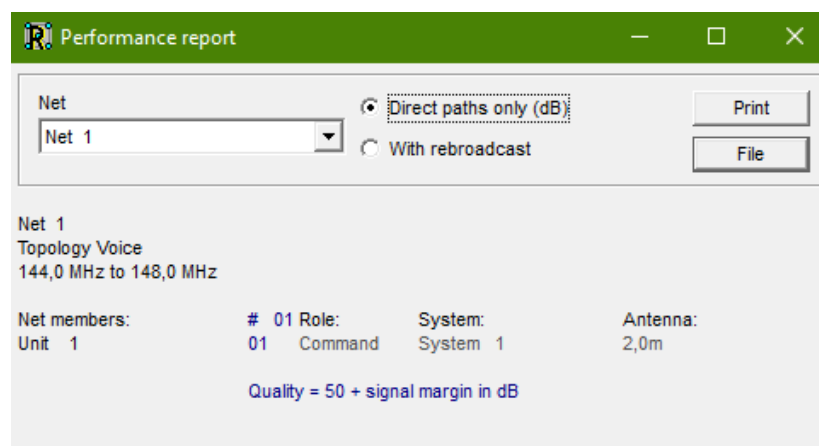
Εικόνα 8. 53: Object Editor – Labels

Στη συνέχεια, βρίσκεται το Antenne pattern viewer, το οποίο σχεδιάζει μοτίβα κεραίας.



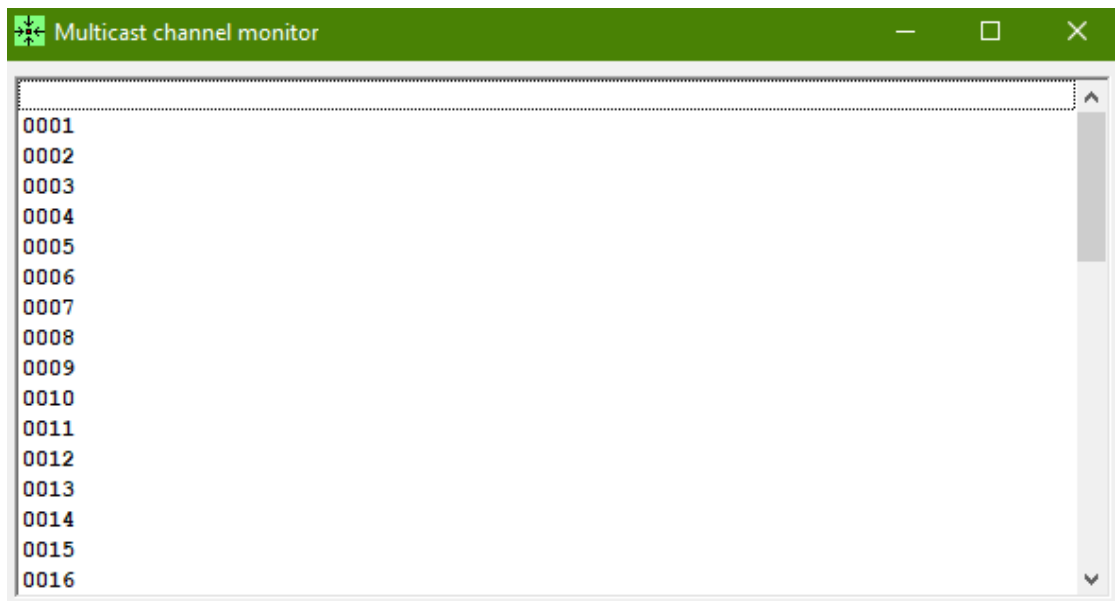
Εικόνα 8. 54: Antenne pattern viewer

Το Network report εμφανίζει έναν πίνακα, ο οποίος απεικονίζει την απόδοση όλων των συνδέσμων του δικτύου.



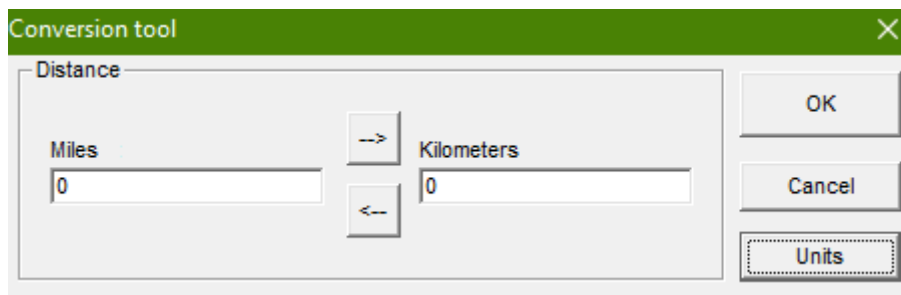
Εικόνα 8. 55: Network report

Το Multicast monitor δείχνει τα τελευταία μηνύματα που λαμβάνονται στο κανάλι, το οποίο ορίζεται από τις επιλογές του GPS.

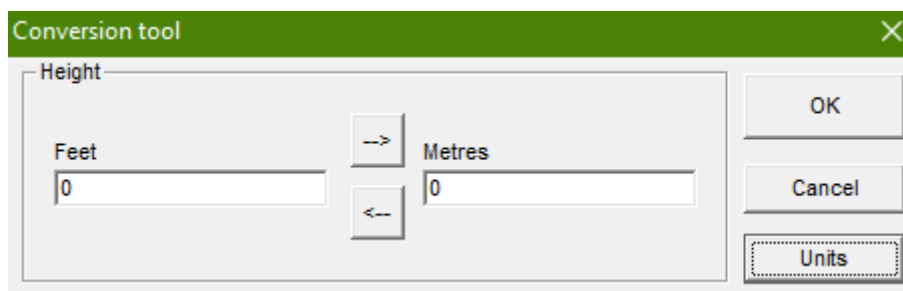


Εικόνα 8. 56: Multicast Monitor

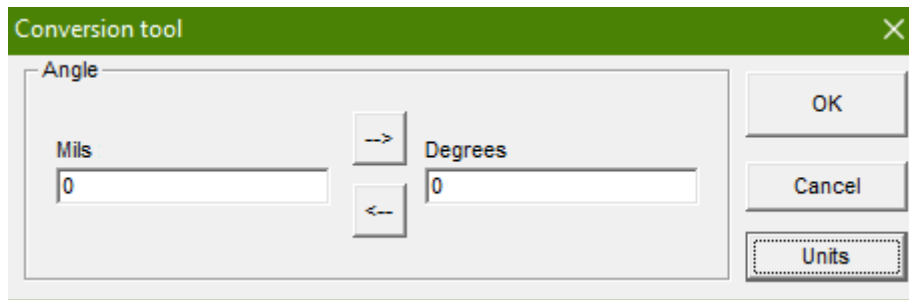
Τέλος, το Metric conversion χρησιμοποιείται για μετατροπή μετρήσεων. Από το Units επιλέγονται διαφορετικές μετρήσεις για μετατροπή.



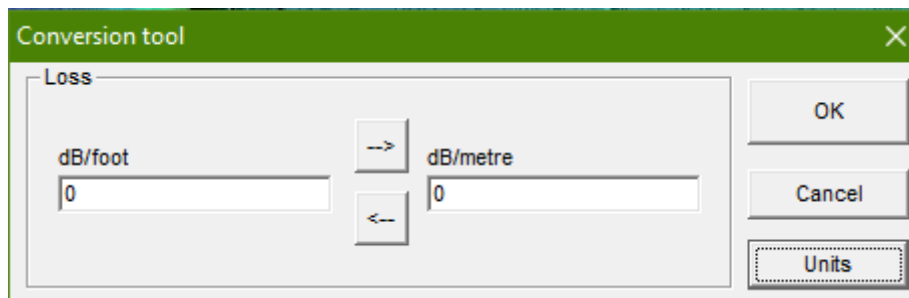
Εικόνα 8. 57: Metric conversion (Miles – Kilometers)



Εικόνα 8. 58: Metric conversion (Feet - Metres)

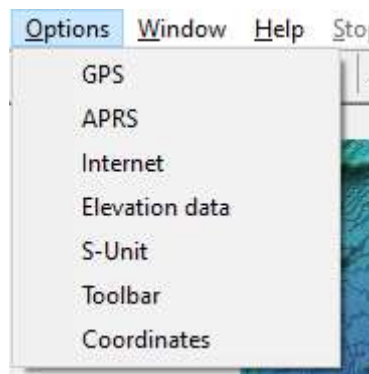


Εικόνα 8. 59: Metric conversion (Mils - Degrees)



Εικόνα 8. 60: Metric conversion (dB/foot - dB/metre)

8.2.5: Options

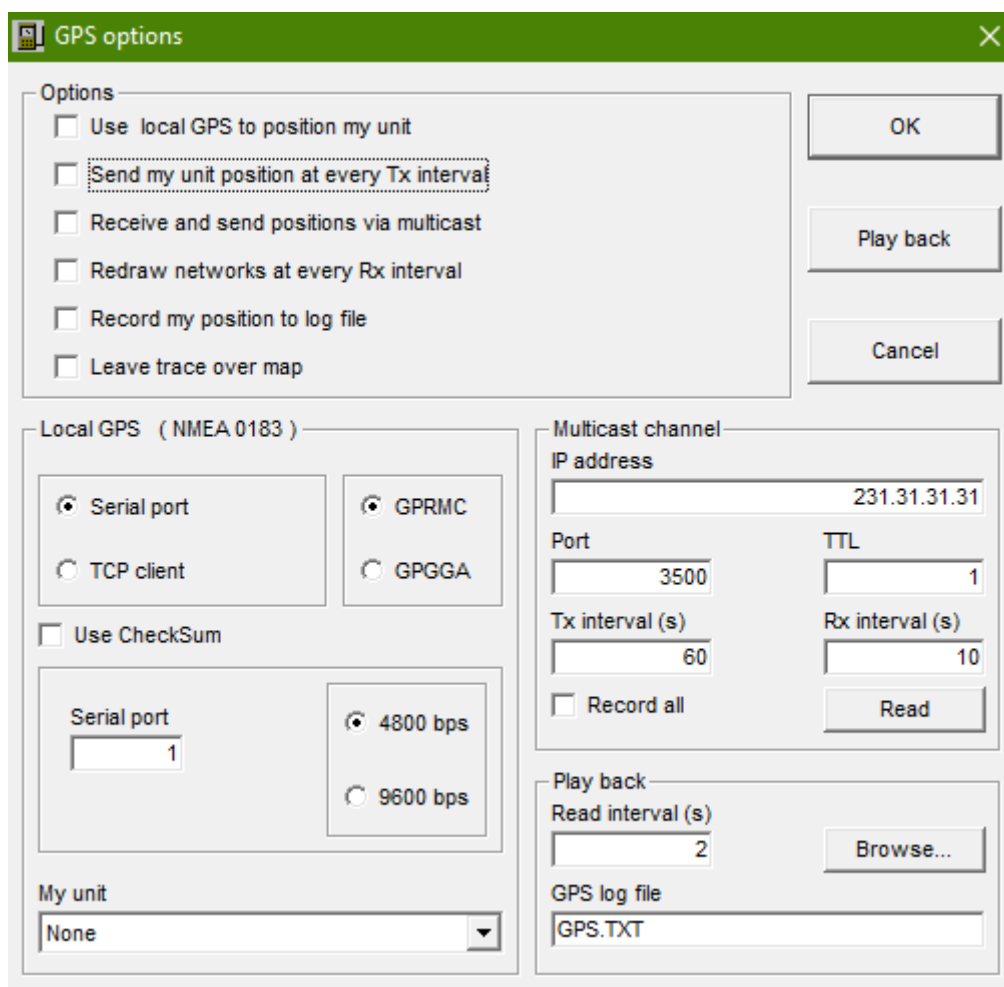


Εικόνα 8. 61: Options

Η πέμπτη επιλογή από το μενού του Radio Mobile είναι το Options. Με την επιλογή του GPS, ανοίγει ένα παράθυρο για τον εντοπισμό θέσης με την χρήση του GPS. Στο πλαίσιο Options, το Use local GPS to position my unit χρησιμοποιεί το τοπικό GPS. Το Send my unit position at every Tx interval, επιτρέπει την μετάδοση της θέσης της μονάδας στο καθορισμένο διάστημα. Το Redraw networks at every Rx interval, υπολογίζει όλες τις διαδρομές σε ένα ραδιοφωνικό δίκτυο. Το Record my position to

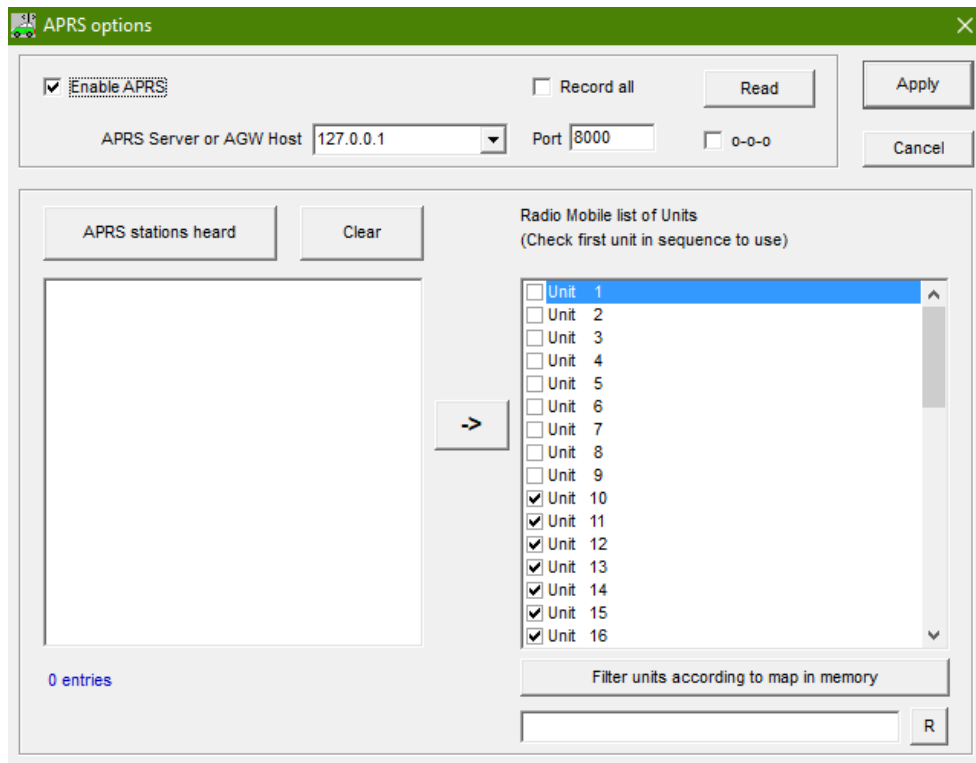
log file, καταγράφει τα δεδομένα του GPS. Τέλος, το Leave trace over map, αφήνει ένα ίχνος του GPS στον χάρτη.

Στο πλαίσιο Local GPS, επιλέγεται η πηγή του GPS μεταξύ του Serial port και του TCP client. Μεταξύ του GPRMC και του GPGGA, επιλέγεται το Datagram. Στο πλαίσιο Multicast channel, απεικονίζονται η διεύθυνση προορισμού στο IP address, η θύρα του IP στο IP – port και το TTL. Το Tx Interval απεικονίζει το διάστημα μετάδοσης, στο οποίο η θέση GPS μεταδίδεται στο κανάλι. Τέλος, το Rx Interval απεικονίζει το διάστημα, στο οποίο εφαρμόζεται η θέση GPS που λαμβάνεται.



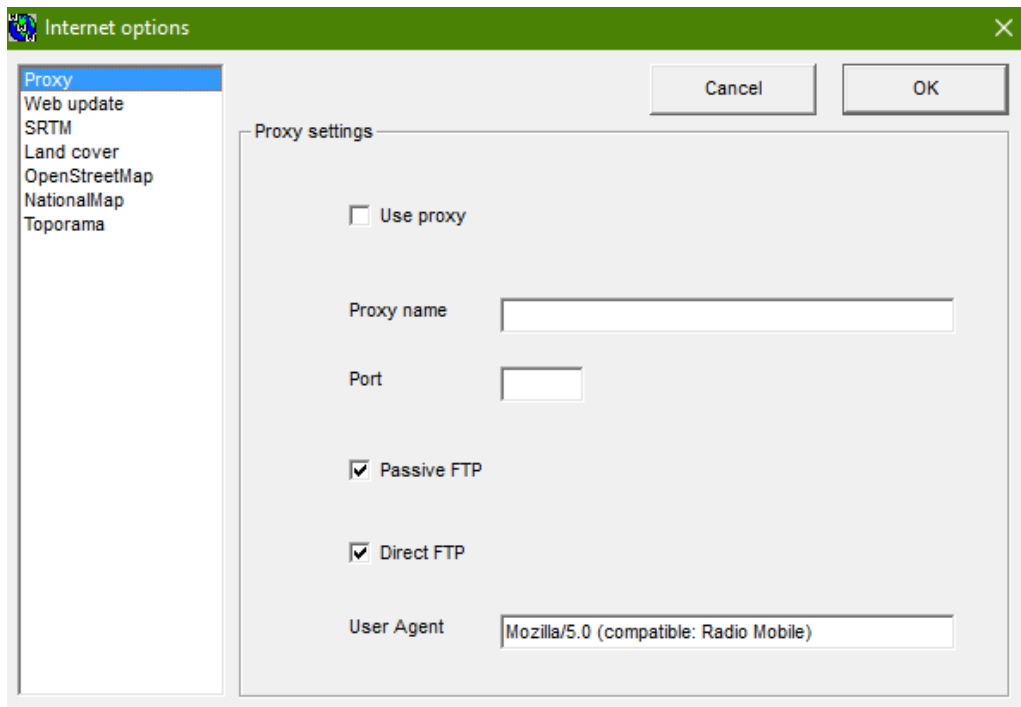
Εικόνα 8. 62: GPS

Η επιλογή APRS (Automatic Position Reporting System), χρησιμοποιείται μόνο για λήψη. Στο αριστερό πλαίσιο, εμφανίζονται όλοι οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν στο Radio Mobile. Στο δεξί πλαίσιο, εμφανίζονται όλες οι μονάδες.

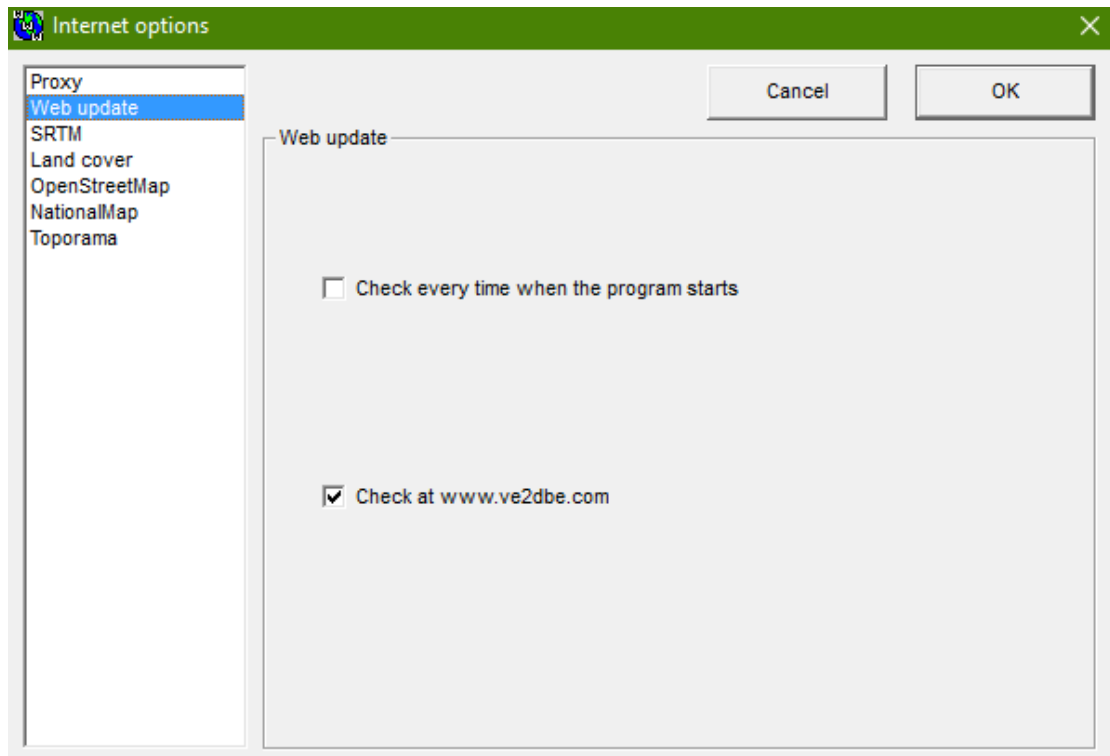


Εικόνα 8. 63: APRS

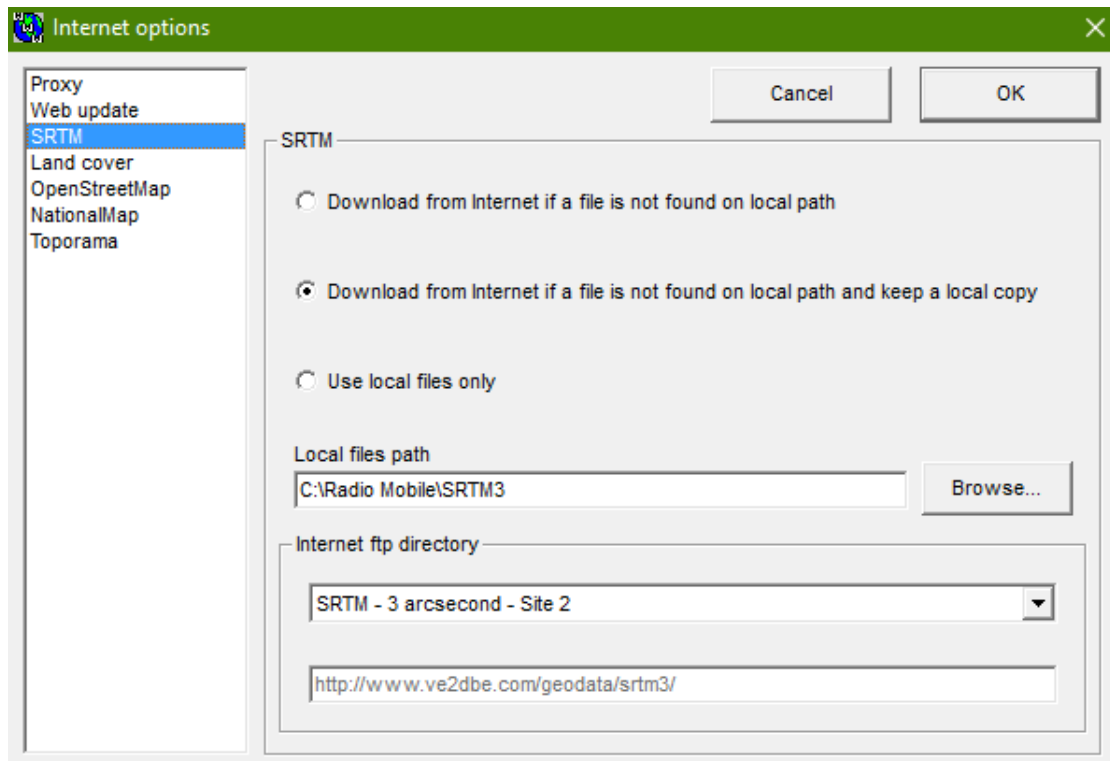
Μέσω της επιλογής Internet, το Radio Mobile μπορεί να έχει πρόσβαση σε πολλές πηγές στο Διαδίκτυο.



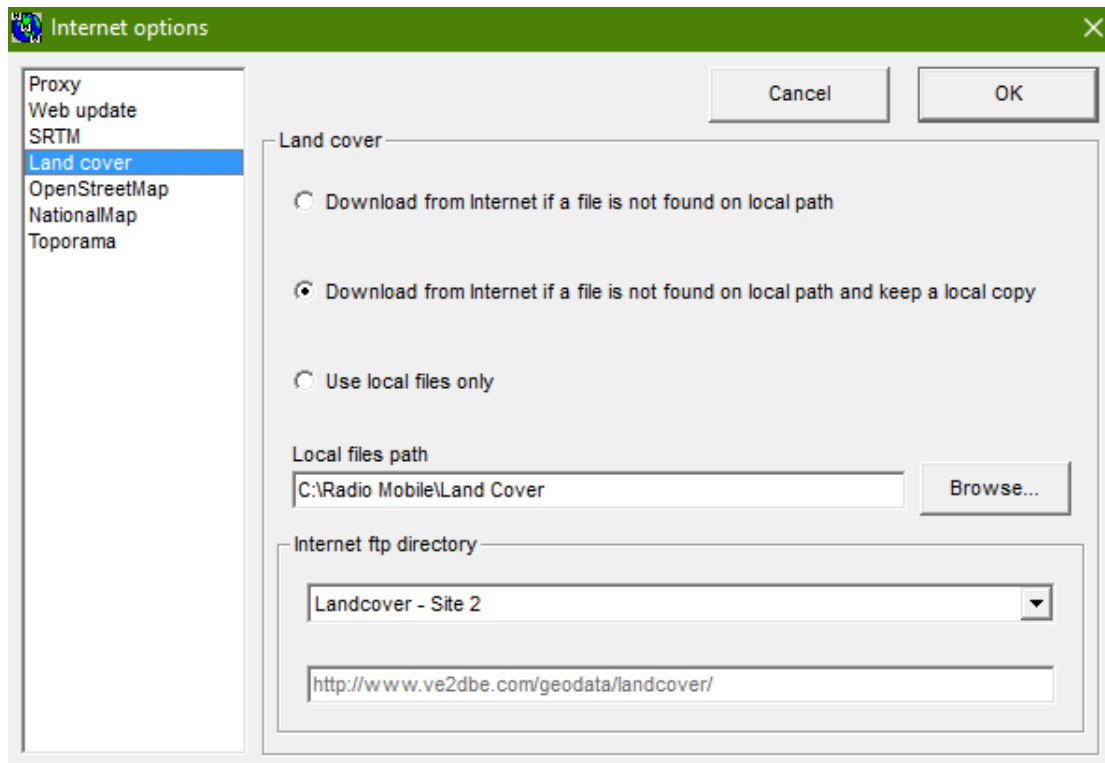
Εικόνα 8. 64: Internet Proxy



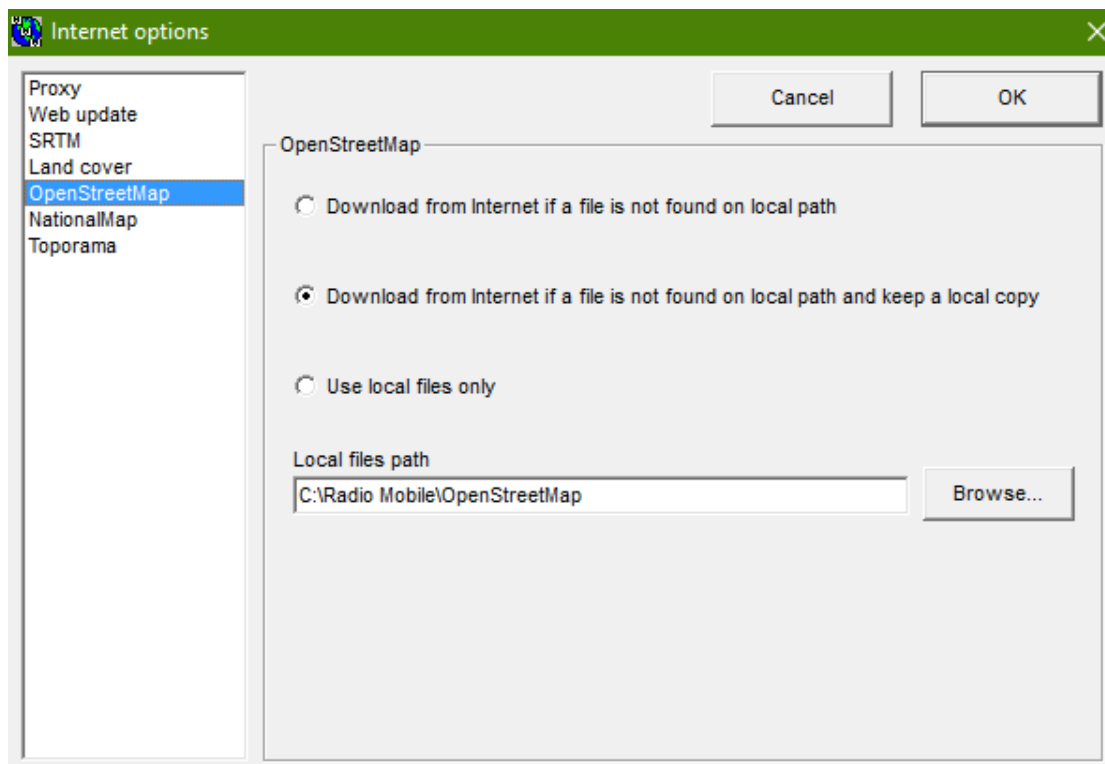
Εικόνα 8. 65: Internet Web update



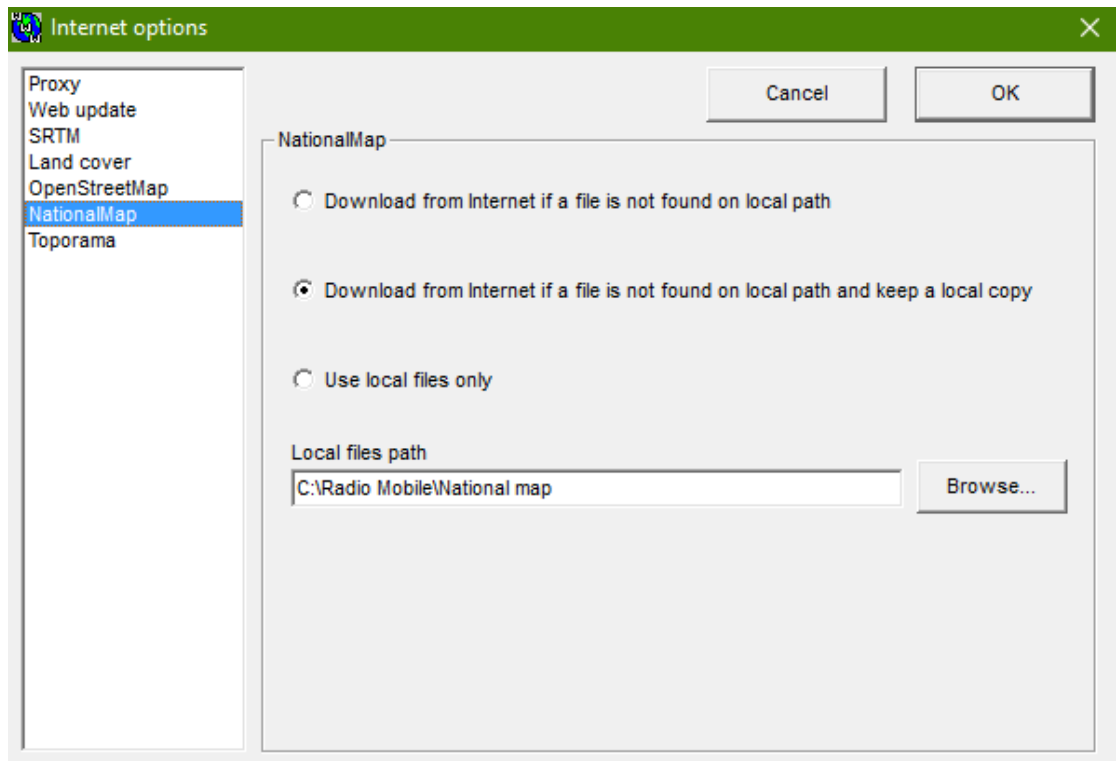
Εικόνα 8. 66: Internet SRTM



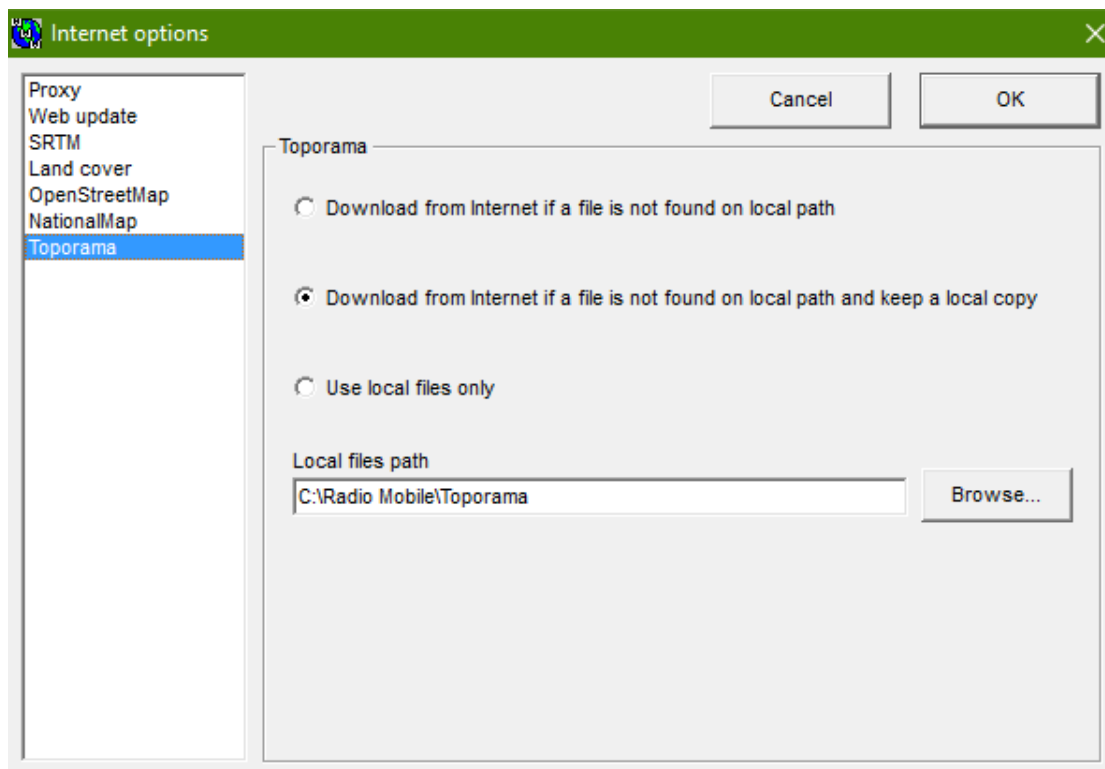
Εικόνα 8. 67: Internet Land cover



Εικόνα 8. 68: Internet OpenStreetMap

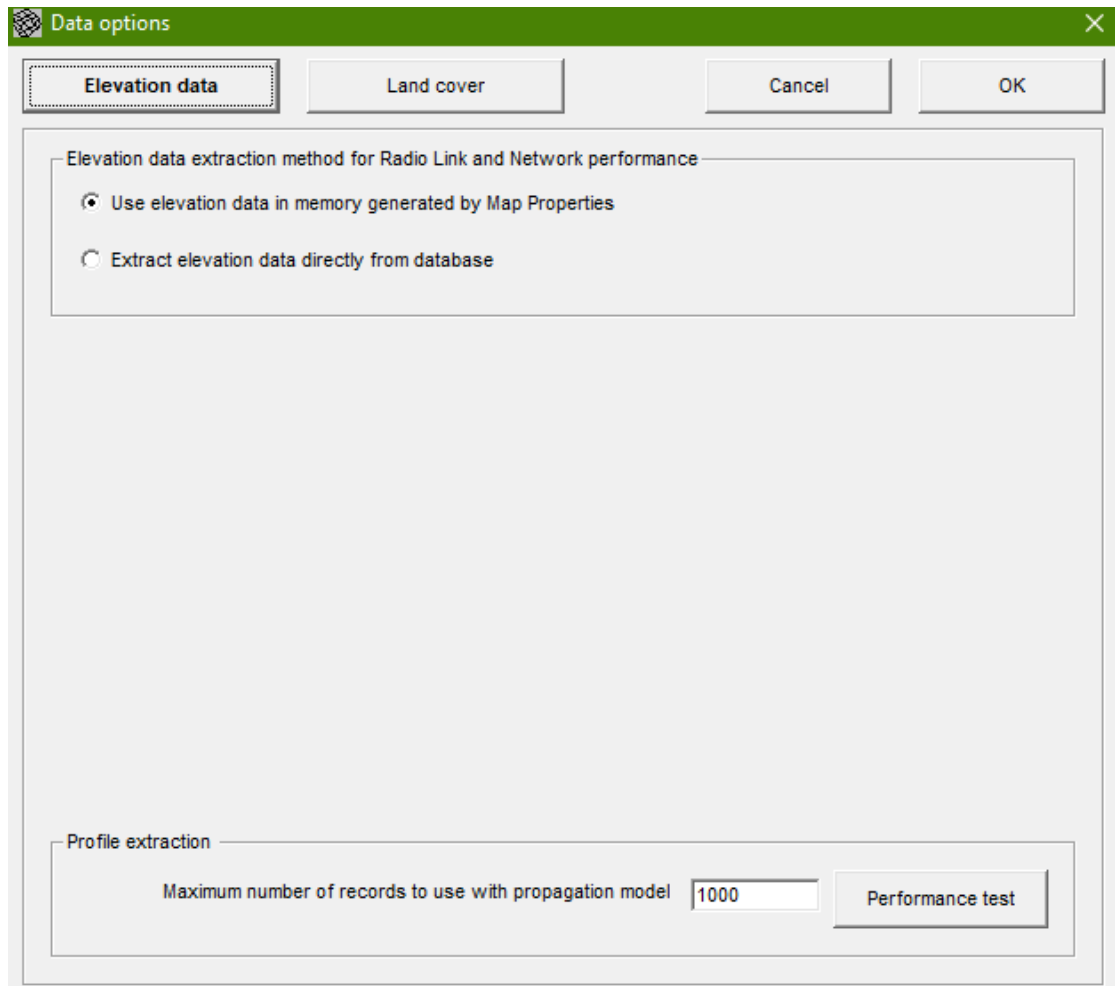


Εικόνα 8. 69: Internet NationalMap

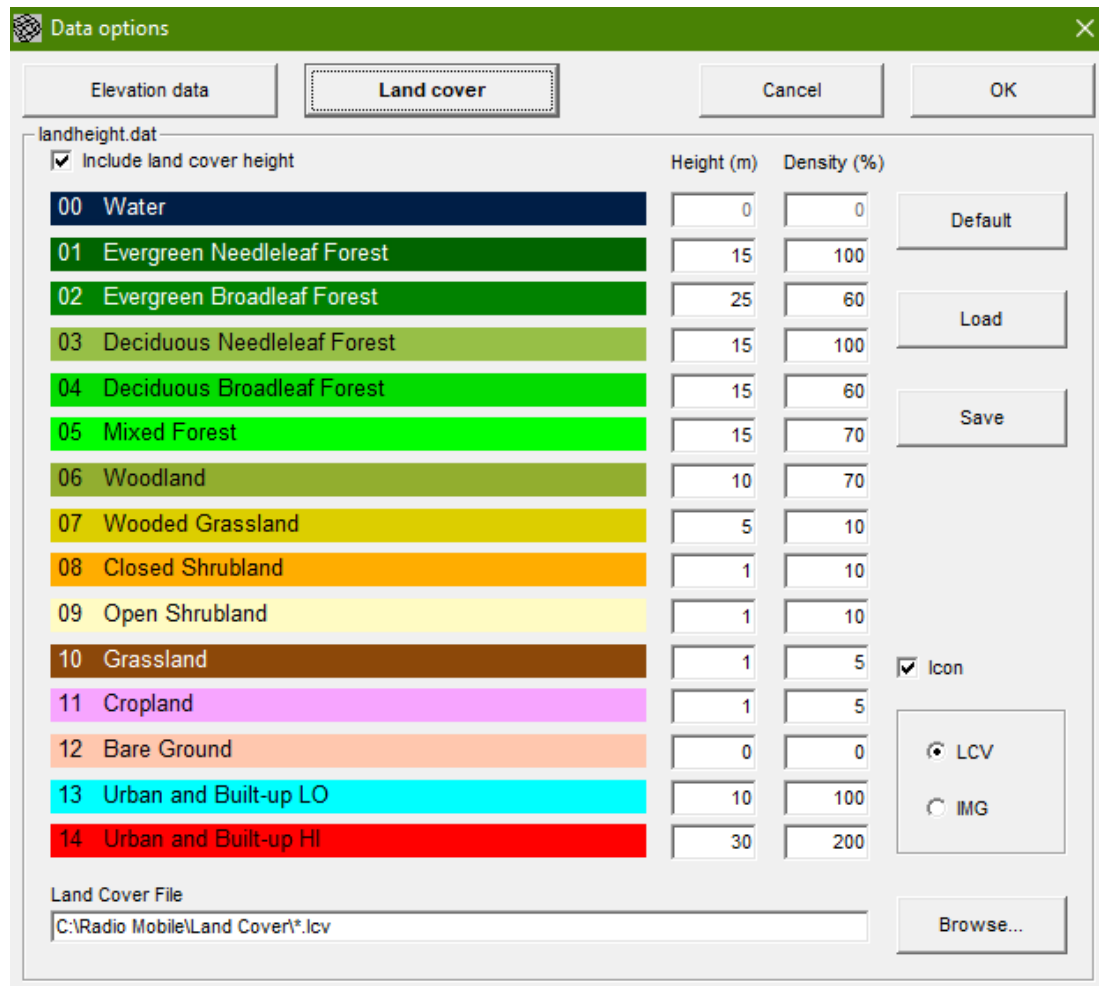


Εικόνα 8. 70: Internet Toporama

Με την επιλογή Elevation data, ανοίγει ένα παράθυρο στο οποίο ορίζεται η μέθοδος εξαγωγής δεδομένων ανύψωσης. Αυτό γίνεται με δύο τρόπους, είτε μέσω του Elevation data και του Land cover.

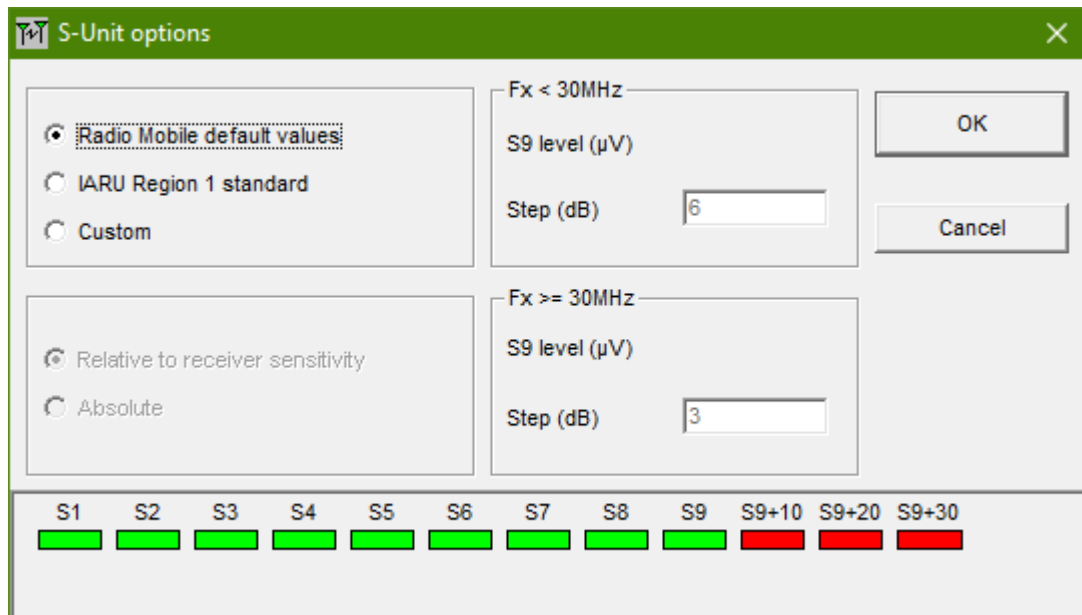


Εικόνα 8. 71: Elevation data

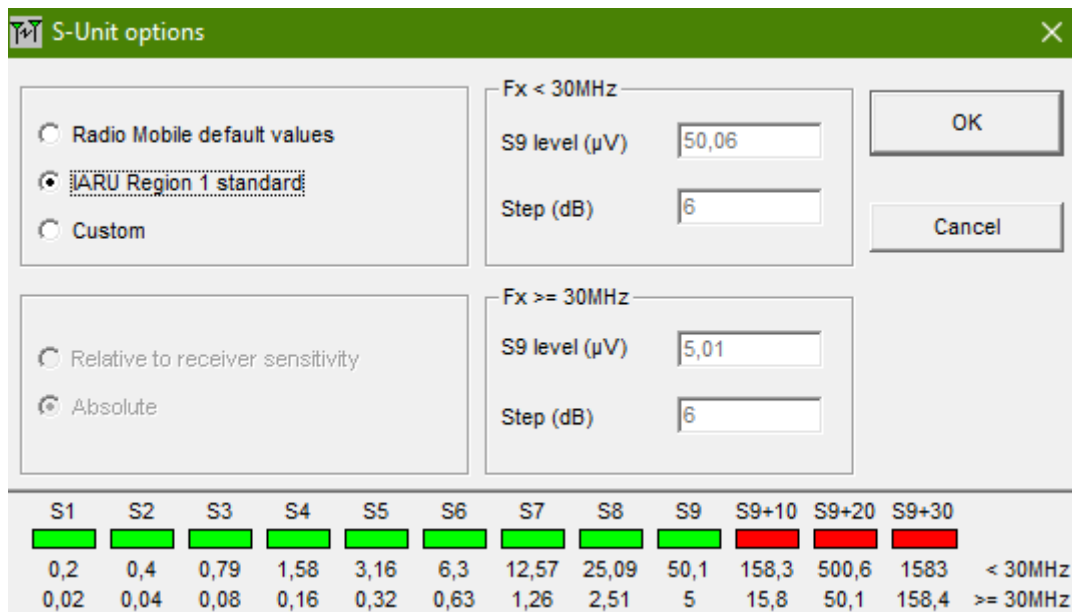


Εικόνα 8. 72: Land cover

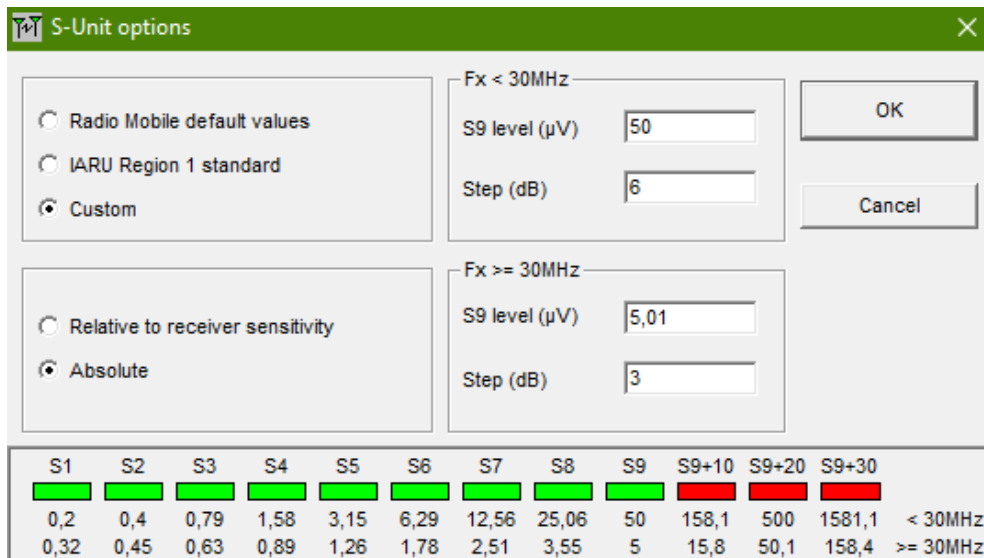
Με την επιλογή S – Unit, ανοίγει ένα παράθυρο στο οποίο διαμορφώνονται οι S – μονάδες που εμφανίζονται στο Radio Mobile. Αυτό μπορεί να γίνει με τρεις τρόπος, οι οποίοι είναι το Radio Mobile default values, το IARU region 1 standard και το Custom. Σε απόλυτο επίπεδο στο uV, οι S – μονάδες αναφέρονται ως S9. Στο Radio Mobile default values, το οποίο δεν συστήνεται, για συχνότητες κάτω από 30 MHz, το S9 είναι άγνωστο και για κάθε S – point αντιστοιχούν 6 dB. Για συχνότητες πάνω από 30 MHz, το S9 είναι άγνωστο και για κάθε S – point αντιστοιχούν 3 dB. Στο IARU region 1 standard, για συχνότητες κάτω από 30 MHz, το S9 είναι 50,06 uV και για κάθε S – point αντιστοιχούν 6 dB. Για συχνότητες πάνω από 30 MHz, το 5,01 uV και για κάθε S – point αντιστοιχούν 3 dB. Στο Custom, για συχνότητες κάτω από 30 MHz, το S9 είναι 50,06 uV και για κάθε S – point αντιστοιχούν 6 dB. Για συχνότητες πάνω από 30 MHz, το 7,0795 uV και για κάθε S – point αντιστοιχούν 3 dB.



Εικόνα 8. 73: Radio Mobile default values

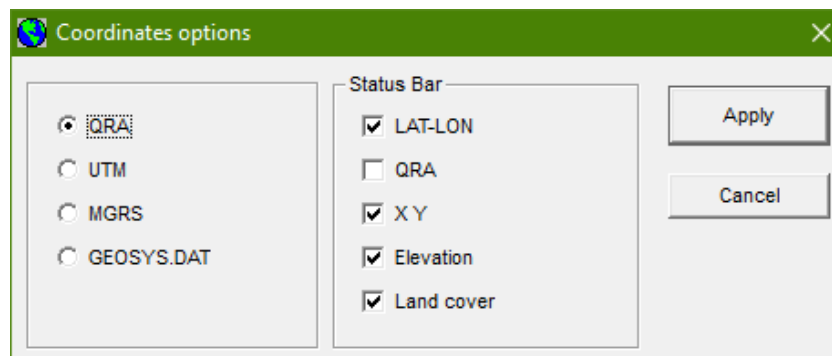


Εικόνα 8. 74: IARU Region 1 standard



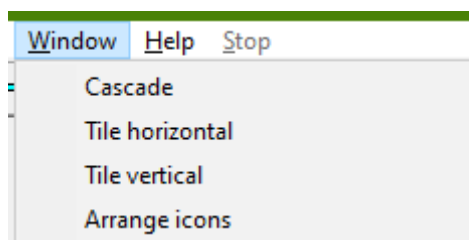
Εικόνα 8. 75: Custom

Με την επιλογή Toolbar, μπορούν να επιλεγθούν τα εικονίδια που θα εμφανίζονται στην γραμμή εργαλείων του Radio Mobile. Τέλος, με το Coordinates επιλέγεται το σύστημα συντεταγμένων που θα χρησιμοποιηθεί, μεταξύ των QRA, UTM, MGRS και GEOSYS.



Εικόνα 8. 76: Coordinates

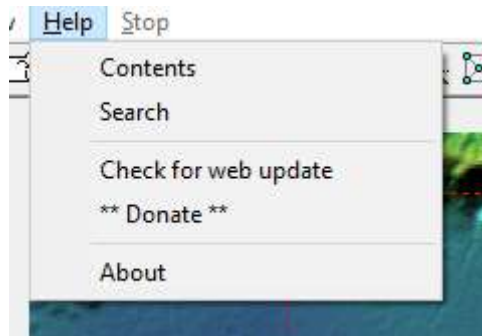
8.2.6: Window



Εικόνα 8. 77: Window

Η έκτη επιλογή από το μενού του Radio Mobile είναι το Windows. Με το Cascade εμφανίζονται πολλαπλά παράθυρα με την εικόνα του χάρτη, σε μορφή καταρράκτη. Το Tile Horizontal, τοποθετεί τα παράθυρα οριζόντια και το Tile Vertical, τοποθετεί τα παράθυρα κάθετα. Τέλος, το Arrange Icons μειώνει τα παράθυρα και ευγραμμίζει τα εικονίδια, στο κάτω μέρος της οθόνης.

8.2.7: Help

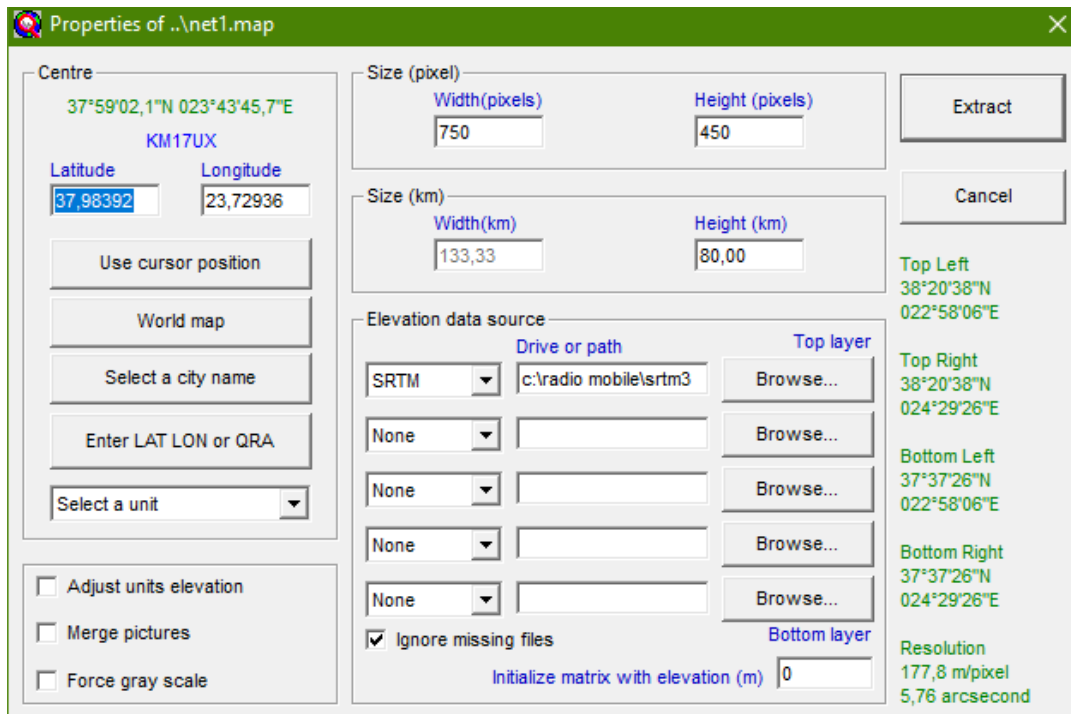


Εικόνα 8. 78: Help

Στην τελευταία επιλογή του μενού του Radio Mobile, μπορούν να εμφανιστούν επιπλέον πληροφορίες και βοήθειες για το πρόγραμμα.

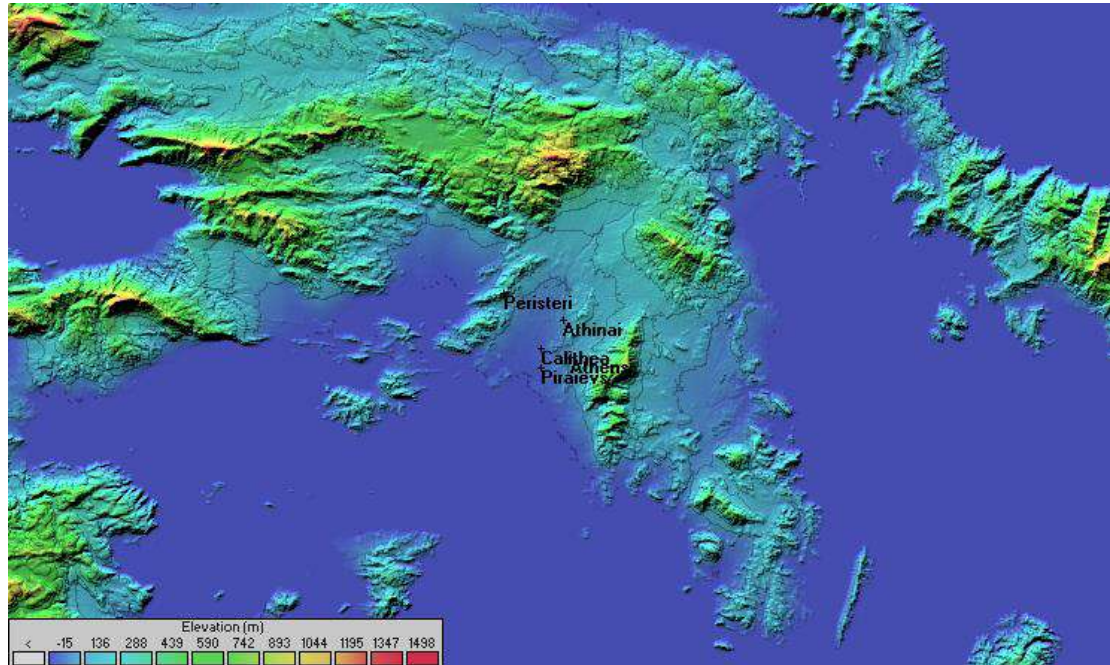
8.3: Μελέτη ραδιοκάλυψης της Αθήνας με χρήση του Radio Mobile

Παρακάτω θα αναλυθεί ένα παράδειγμα μελέτης ραδιοκάλυψης για την περιοχή της Αθήνας. Αρχικά, πρέπει να εξαχθεί ο χάρτης. Από το μενού, επιλέγεται το Files και ύστερα το Map properties. Οι συντεταγμένες της Αθήνας είναι 37.983917° , το γεωγραφικό πλάτος και 23.72936° , το γεωγραφικό μήκος. Οι τιμές αυτές εισάγονται στο πλαίσιο Centre, στα Latitude και Longitude. Αν οι τιμές δεν ήταν γνωστές, θα μπορούσε η περιοχή να επιλεγεί από τις επόμενες επιλογές, για παράδειγμα μέσω του παγκόσμιου χάρτη ή επιλέγοντας απευθείας την πόλη. Στη συνέχεια, επιλέγεται στα πλαίσια Size, το μέγεθος της εικόνας του χάρτη. Σε pixels, το πλάτος ορίστηκε ίσο με 750 και το ύψος, ίσο με 450. Σε χιλιόμετρα, το ύψος ορίστηκε ίσο με 80 και ανάλογα ορίζεται και το πλάτος αυτόματα. Τέλος, στο πλαίσιο Elevation data source, ορίζεται η πηγή από την οποία θα ληφθούν τα δεδομένα ανύψωσης. Σε αυτή την περίπτωση επιλέχθηκε το SRTM, το οποίο βρίσκεται στον φάκελο srtm3 που είναι αποθηκευμένο στον υπολογιστή.



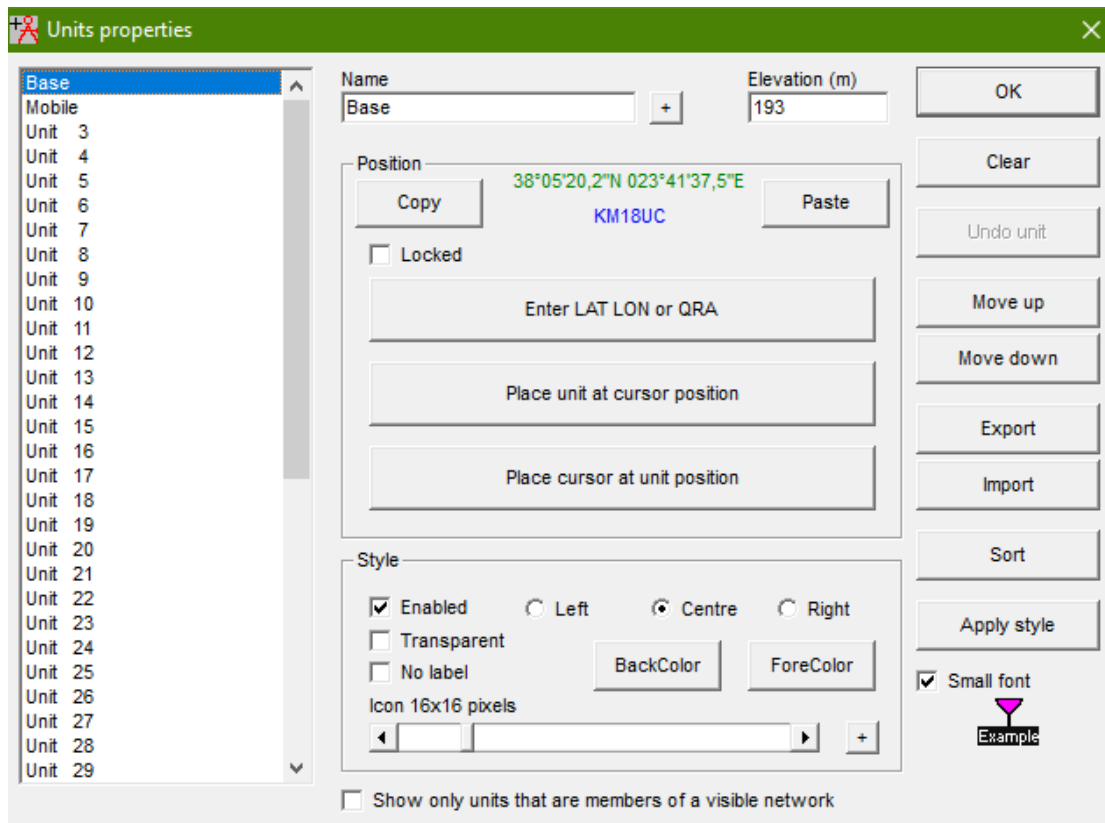
Εικόνα 8. 79: Map properties (Athens)

Ο χάρτης που εξάγεται είναι ο ακόλουθος.



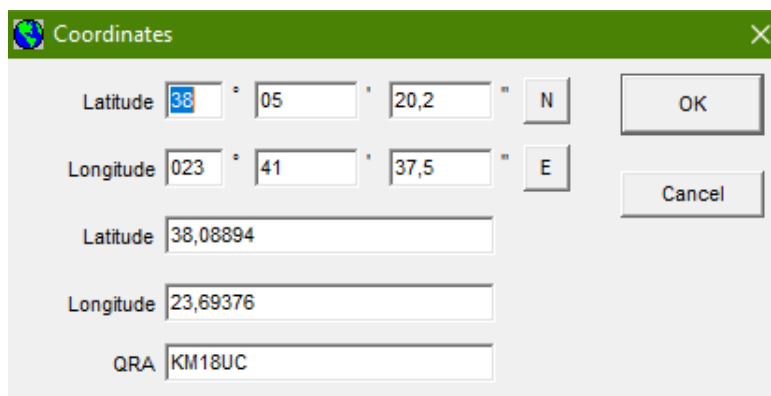
Εικόνα 8. 80: Map of Athens

Στη συνέχεια, ορίζονται οι θέσεις στις οποίες θα βρίσκονται οι μονάδες, στον χάρτη. Αυτό γίνεται από την επιλογή File στο μενού και ύστερα από το Unit properties. Αρχικά, επιλέγονται οι συντεταγμένες της θέσης του σταθμού βάσης στον χάρτη.



Εικόνα 8. 81: Unit properties (Base)

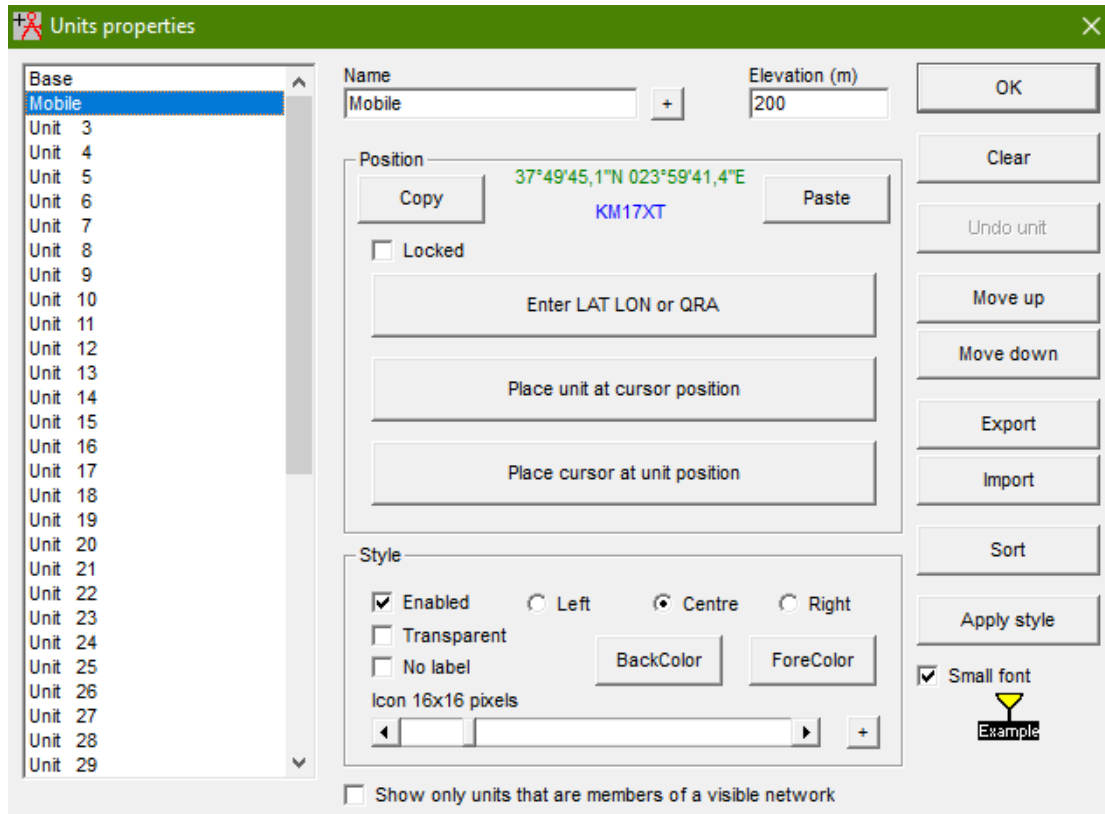
Στο πλαίσιο Name, δίνεται το όνομα της μονάδας, το οποίο στην περίπτωση αυτή είναι Base. Στη συνέχεια, επιλέγεται η θέση της μονάδας είτε μέσω συντεταγμένων στο Enter LAT, LON or QRA, είτε με επιλογή της θέσης στον χάρτη.



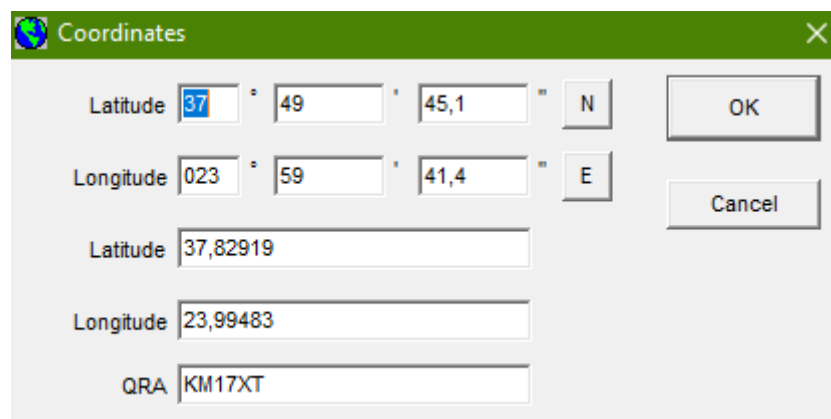
Εικόνα 8. 82: Coordinates of base station

Μόλις επιλεγεί η θέση, στο πλαίσιο Elevation εμφανίζεται αυτόματα η ανύψωση του σταθμού βάσης, η οποία είναι 193 μέτρα. Κάτω δεξιά στο small font, απεικονίζεται η μορφή που θα έχει ο σταθμός βάσης στον χάρτη, η οποία μπορεί να διαμορφωθεί στο πλαίσιο Style.

Η ίδια διαδικασία ακριβώς επαναλαμβάνεται για να επιλεγεί η θέση του κινητού σταθμού.

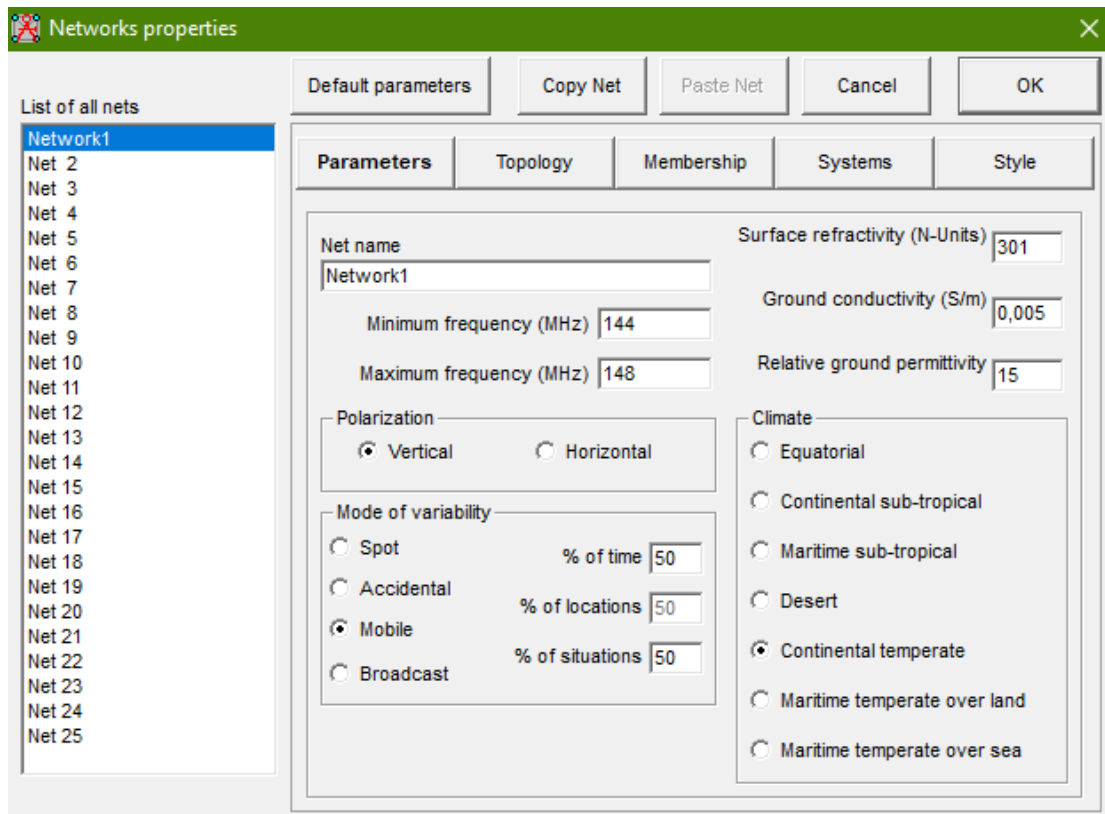


Εικόνα 8. 83: Unit properties (mobile)



Εικόνα 8. 84: Coordinates of mobile station

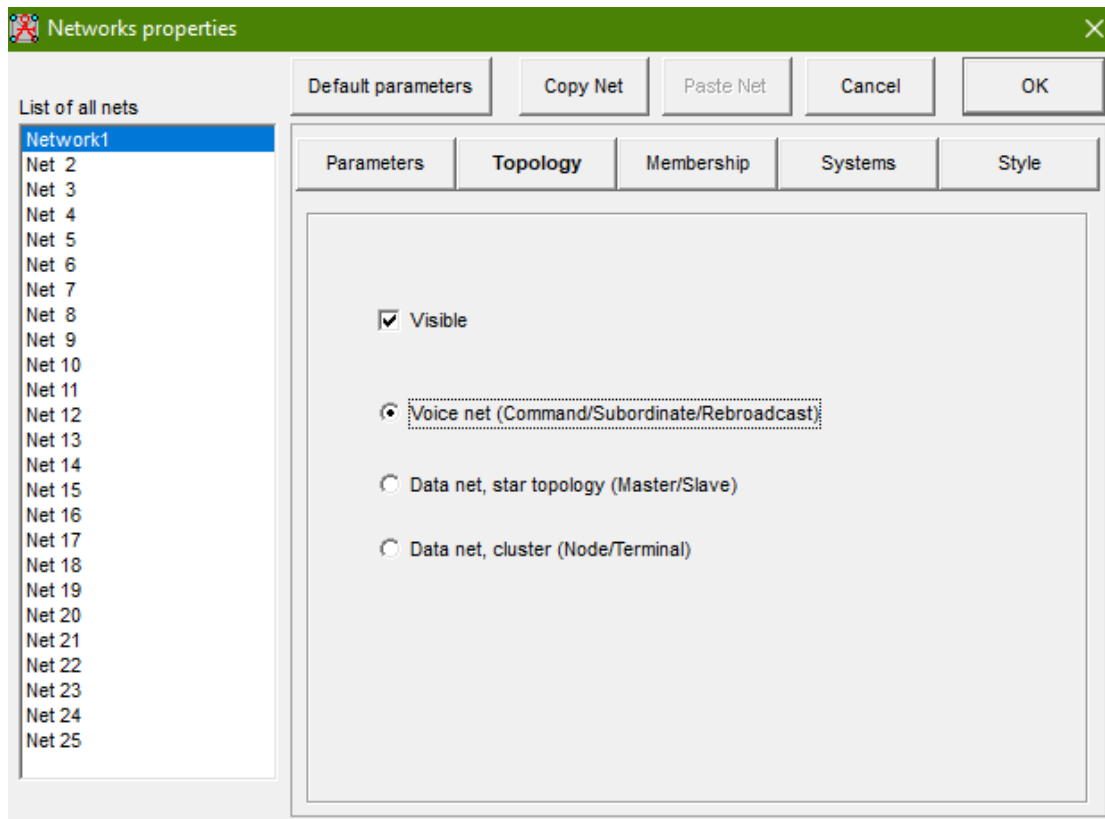
Αφού οριστούν οι θέσεις των δύο μονάδων, ακολουθεί ο ορισμός του δικτύου στο οποίο θα ανήκουν οι δύο μονάδες. Αυτό γίνεται από το Network properties, που βρίσκεται στο File στο μενού.



Εικόνα 8. 85: Network properties - parameters (Athens)

Στο Net name ορίζεται το όνομα του δικτύου, το οποίο σε αυτή την περίπτωση είναι Network1. Η ελάχιστη συχνότητα του δικτύου, ορίστηκε ίση με 144 MHz και μέγιστη, ίση με 148 MHz. Το Surface refractivity, ορίστηκε ίσο με 301 που αντιστοιχεί σε μέσες ατμοσφαιρικές συνθήκες. Το Ground conductivity, ορίστηκε ίσο με 0,005 και το Relative ground permittivity, ίσο με 15. Η πόλωση επιλέχθηκε να είναι κάθετη. Στο Mode of variability επιλέχθηκε το Mobile, που αφορά κινητές μονάδες κατά την επικοινωνία. Τέλος, το κλίμα στο Climate, επιλέχθηκε να είναι το Continental temperate, που είναι η ηπειρωτική θερμοκρασία.

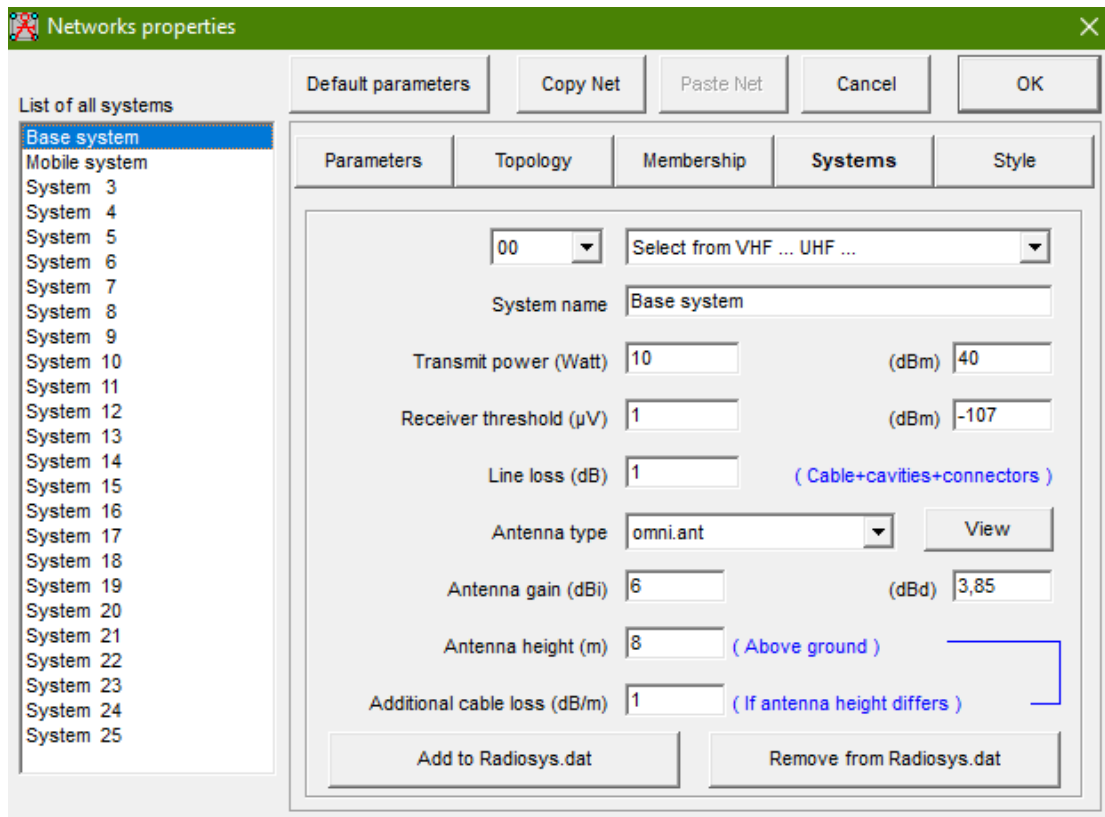
Στη συνέχεια, επιλέγεται το Voice net στο Topology.



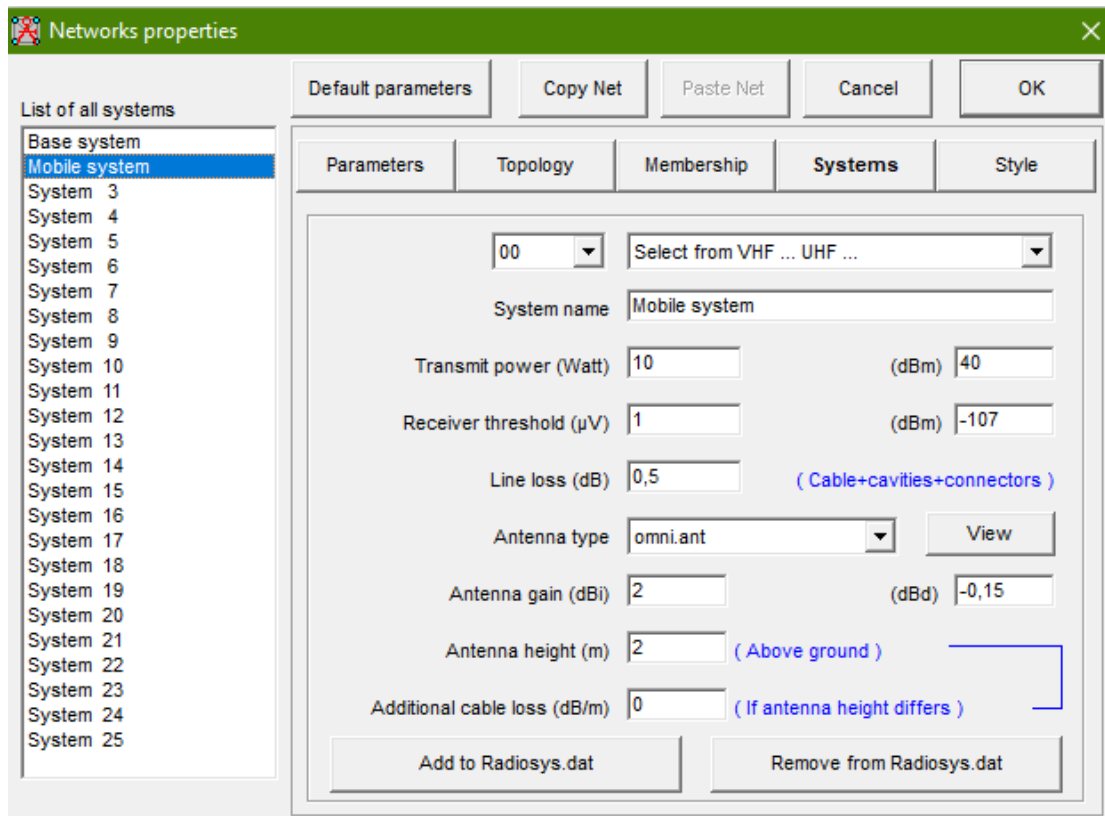
Εικόνα 8. 86: Network properties - Topology (Athens)

Στο Systems, ορίζονται τα συστήματα που αντιστοιχούν στην κάθε μονάδα. Για την μονάδα βάσης, το σύστημα ονομάστηκε Base system. Το Transmit power ορίστηκε ίσο με 10 και το Receiver threshold, ίσο με 1. Οι τιμές αυτές μετατρέπονται, αυτόματα σε decibel. Το Line loss ορίστηκε ίσο με 1, το κέρδος της κεραίας ίσο με 6 και το ύψος της κεραίας ίσο με 8. Η επιπρόσθετη απώλεια ορίστηκε ίσο με 1.

Με τον ίδιο τρόπο, ορίζεται το σύστημα για την κινητή μονάδα. Το σύστημα ονομάστηκε Mobile system. Το Transmit power ορίστηκε ίσο με 10 και το Receiver threshold, ίσο με 1. Οι τιμές αυτές μετατρέπονται, αυτόματα σε decibel. Το Line loss ορίστηκε ίσο με 0,5, το κέρδος της κεραίας ίσο με 2 και το ύψος της κεραίας ίσο με 2. Εδώ δεν προστέθηκαν άλλες απώλειες.

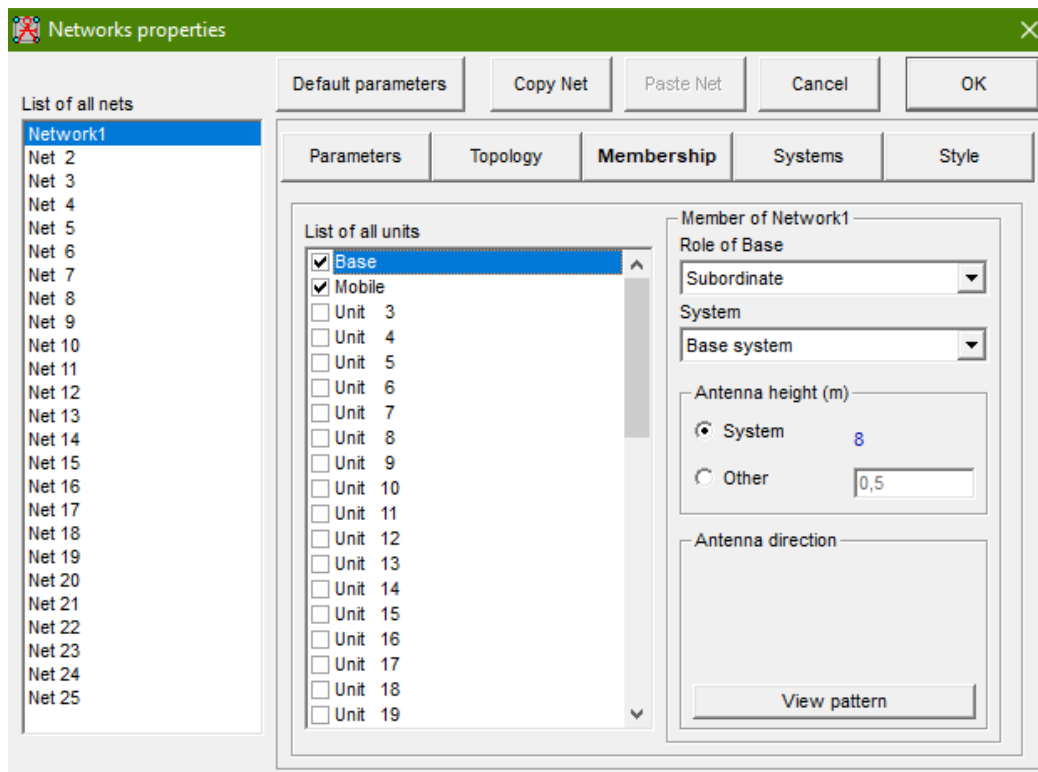


Εικόνα 8. 87: Network properties - Base system



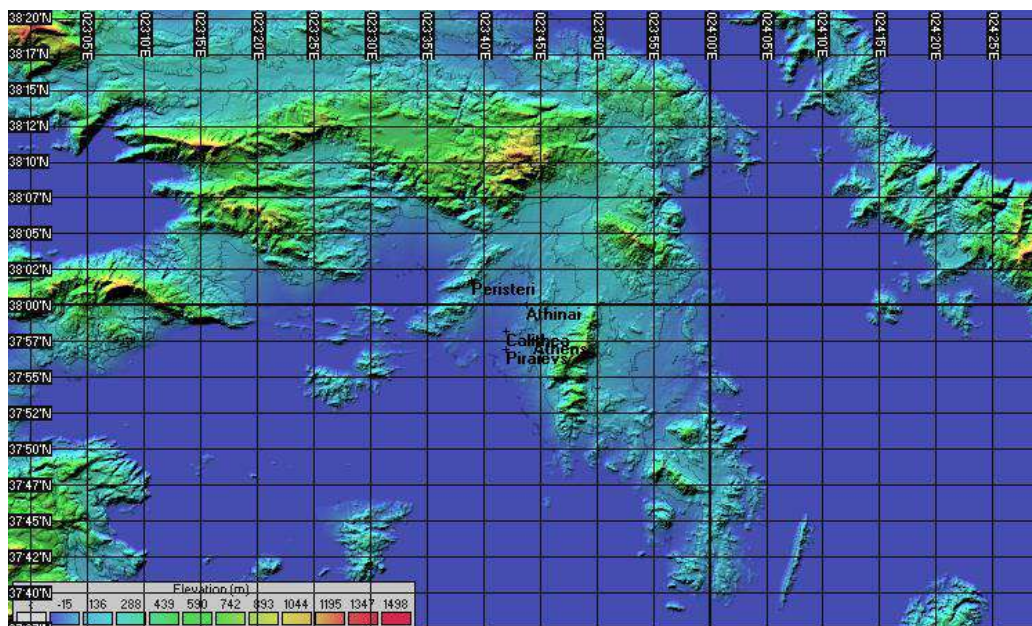
Εικόνα 8. 88: Network properties - Mobile system

Στο Membership, επιλέγονται τα συστήματα που δημιουργήθηκαν για τις δύο μονάδες και προστίθενται στο δίκτυο Network1.

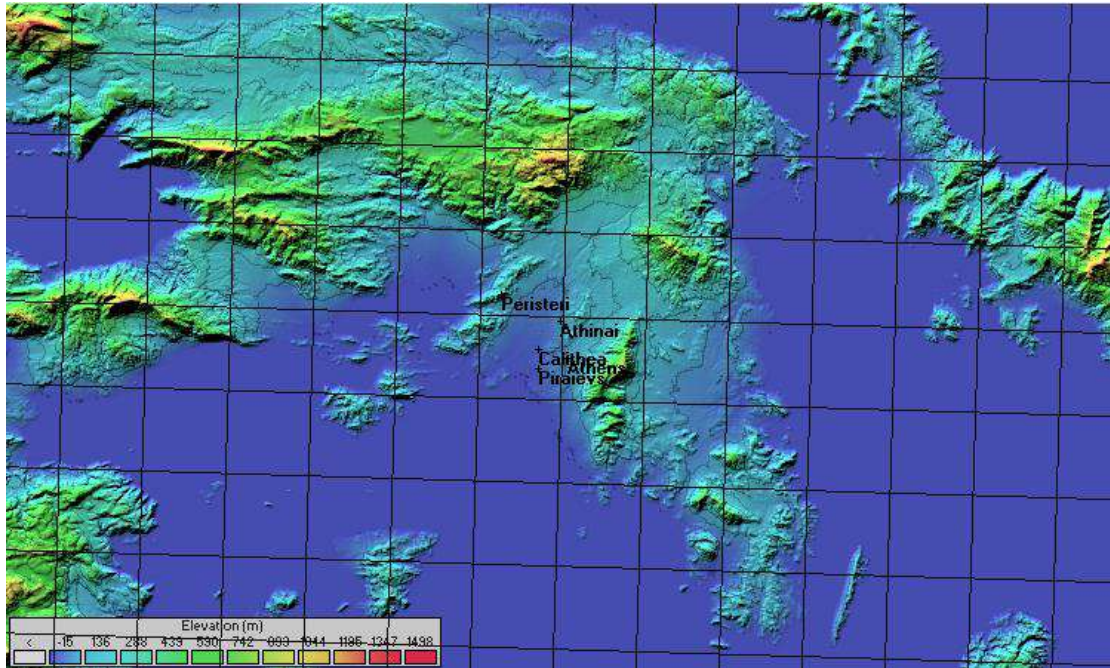


Εικόνα 8. 89: Network properties - Membership - Network1

Στη συνέχεια, από το μενού επιλέγεται το Edit και ύστερα το Draw grids.

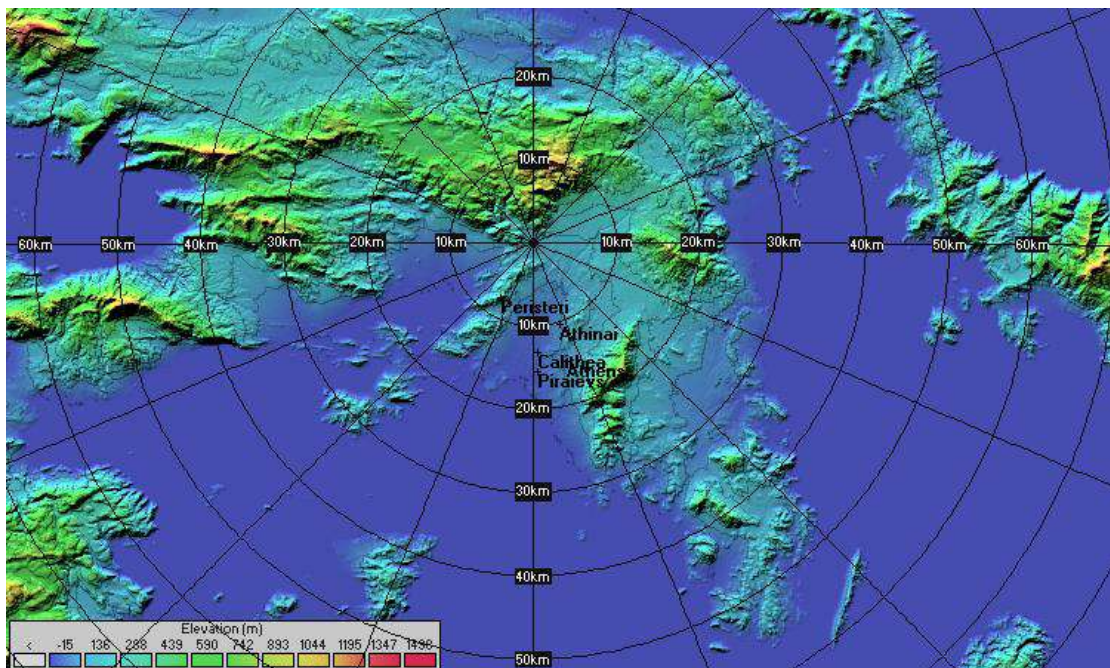


Εικόνα 8. 90: QRA – Athens



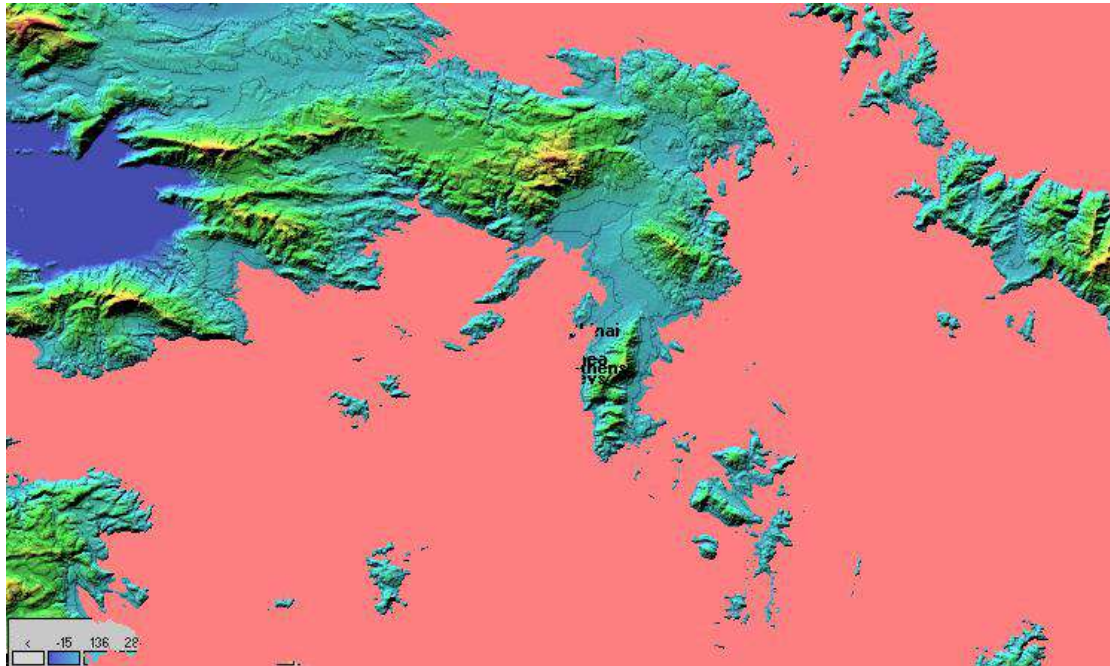
Εικόνα 8. 91: UTM – Athens

Με το Draw rings από το Edit, εμφανίζονται γύρω από τον σταθμό βάσης, δακτύλιοι που έχουν απόσταση μεταξύ τους 10 χιλιόμετρα.

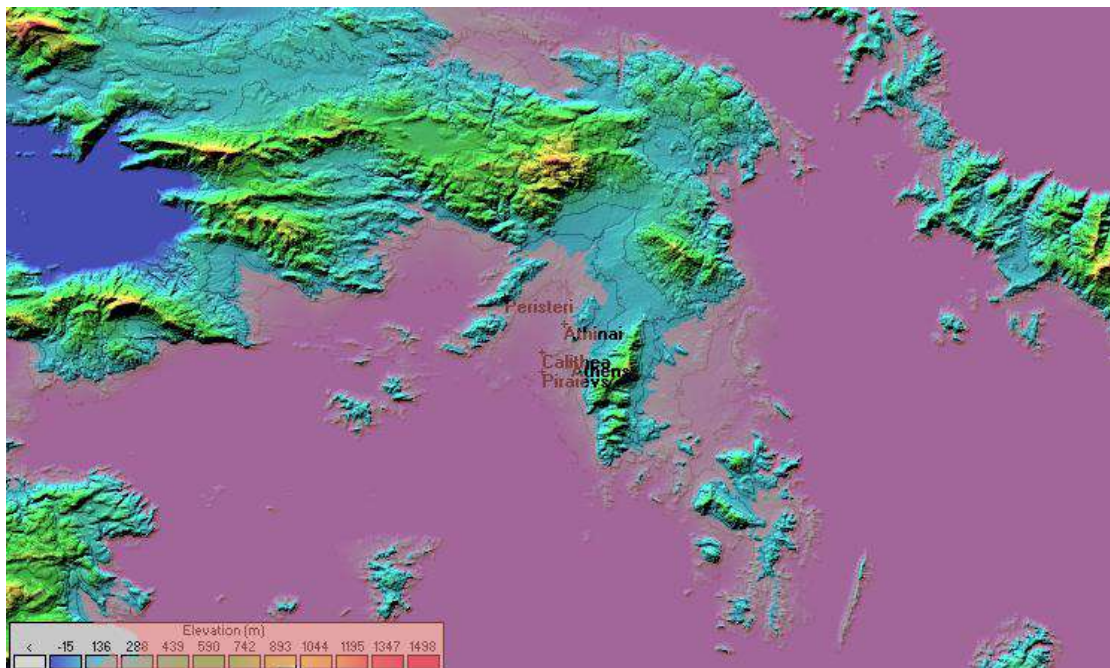


Εικόνα 8. 92: Draw rings - Athens

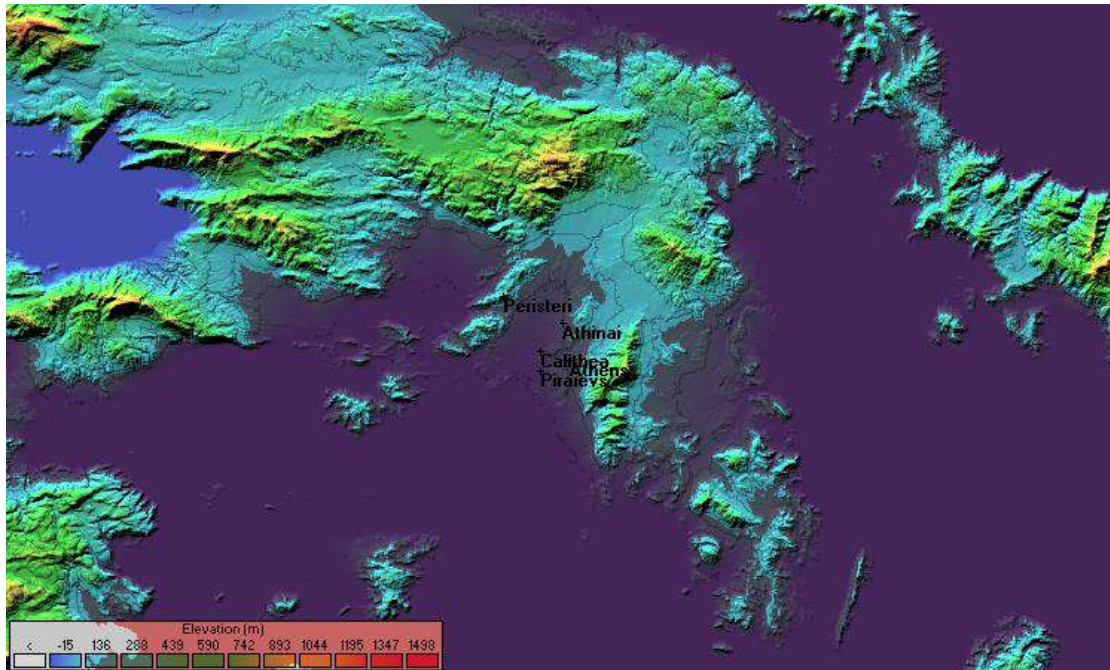
Για το Flood, δίνεται ύψος ίσο με 7 μέτρα.



Εικόνα 8. 93: Flood - Copy (Athens)



Εικόνα 8. 94: Flood - Add (Athens)



Εικόνα 8. 95: Flood - Multiply (Athens)

Στην επιλογή Stratification, δίνονται οι ακόλουθες τιμές:

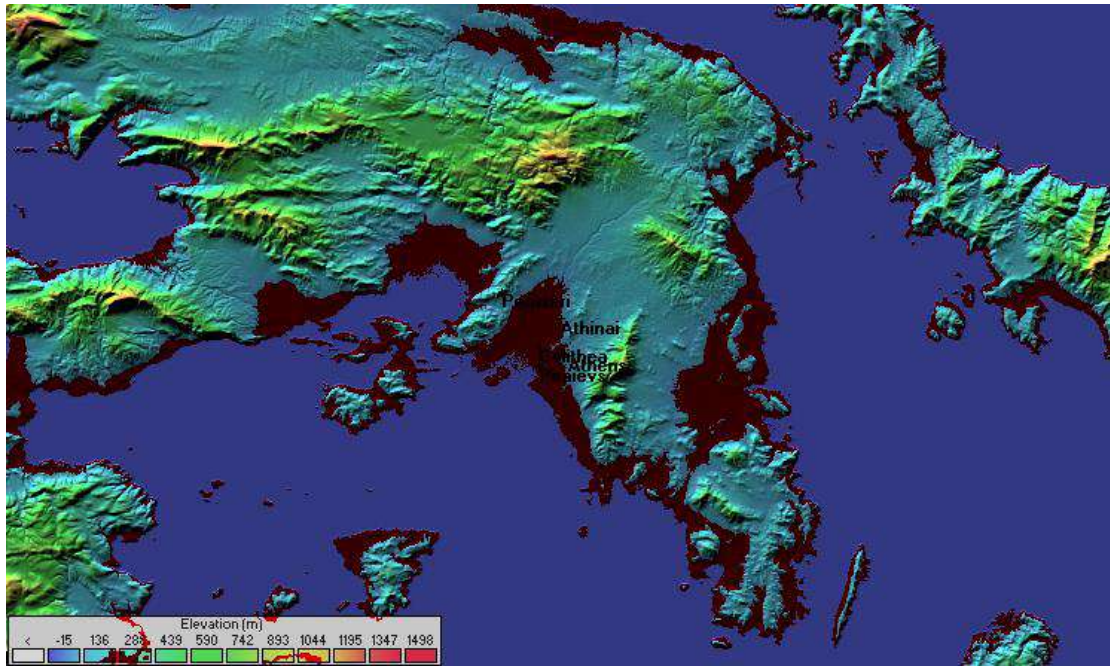
Stratification of image ✕

Minimum elevation (m)

Maximum elevation (m)

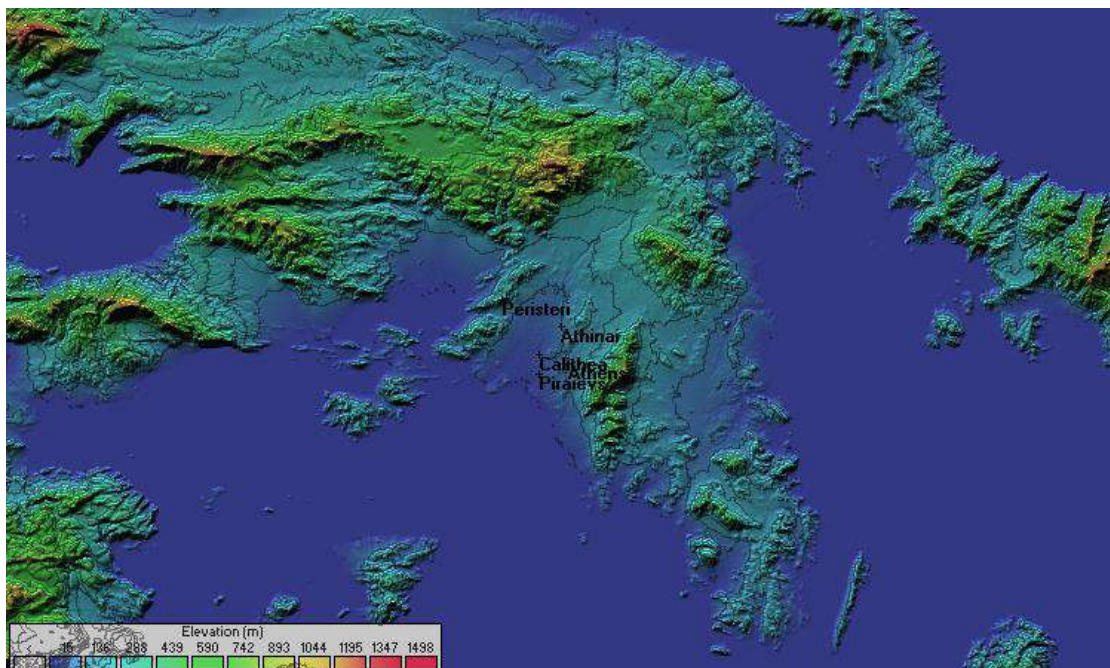
Solid

Εικόνα 8. 96: Stratification example

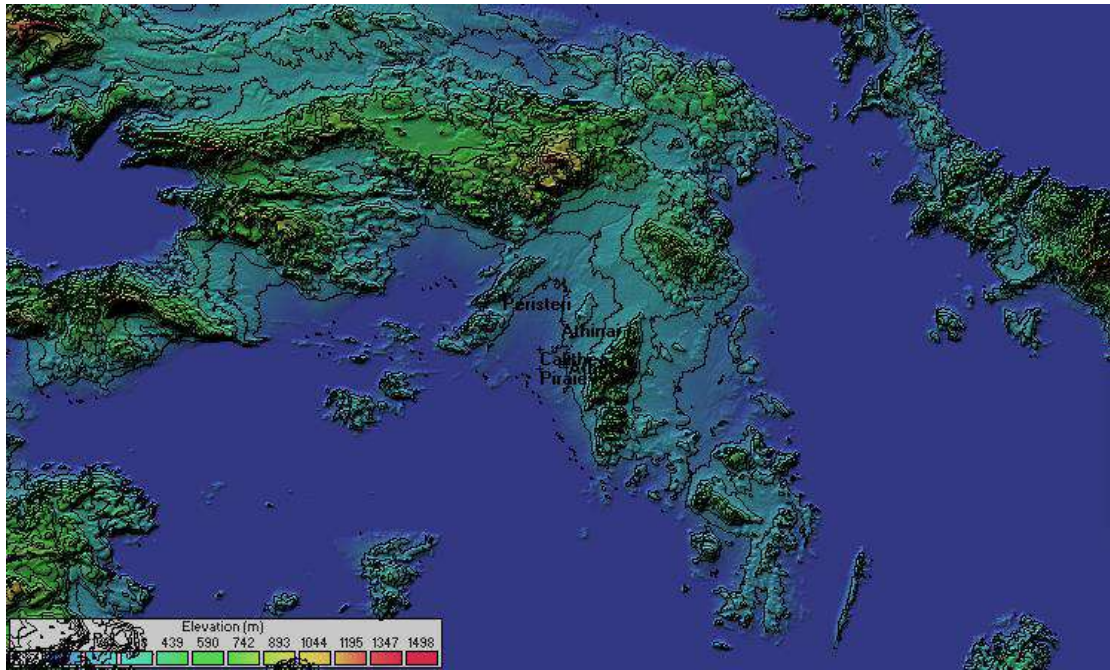


Εικόνα 8. 97: Stratification (Athens)

Για Elevation contour, με τιμή ίση με 100 παράγεται το εξής:

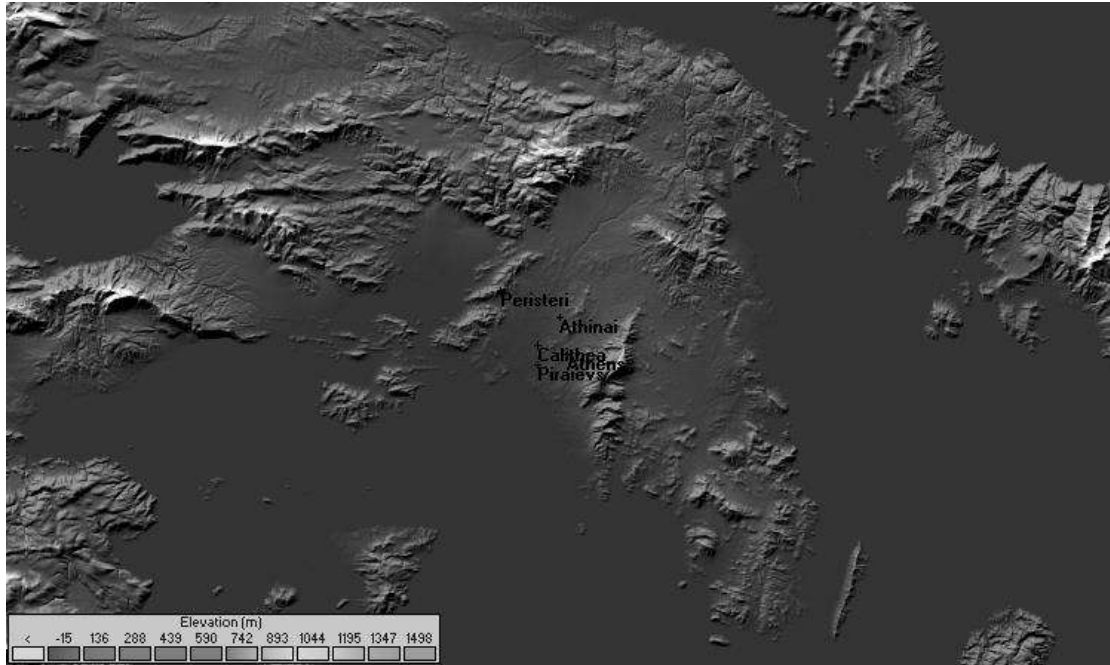


Εικόνα 8. 98: Elevation contour - add (Athens)



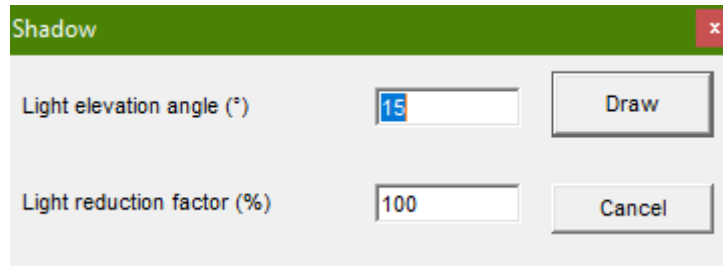
Εικόνα 8. 99: Elevation contour - multiply (Athens)

Με την επιλογή Force gray scale, προκύπτει ο ακόλουθος χάρτης:

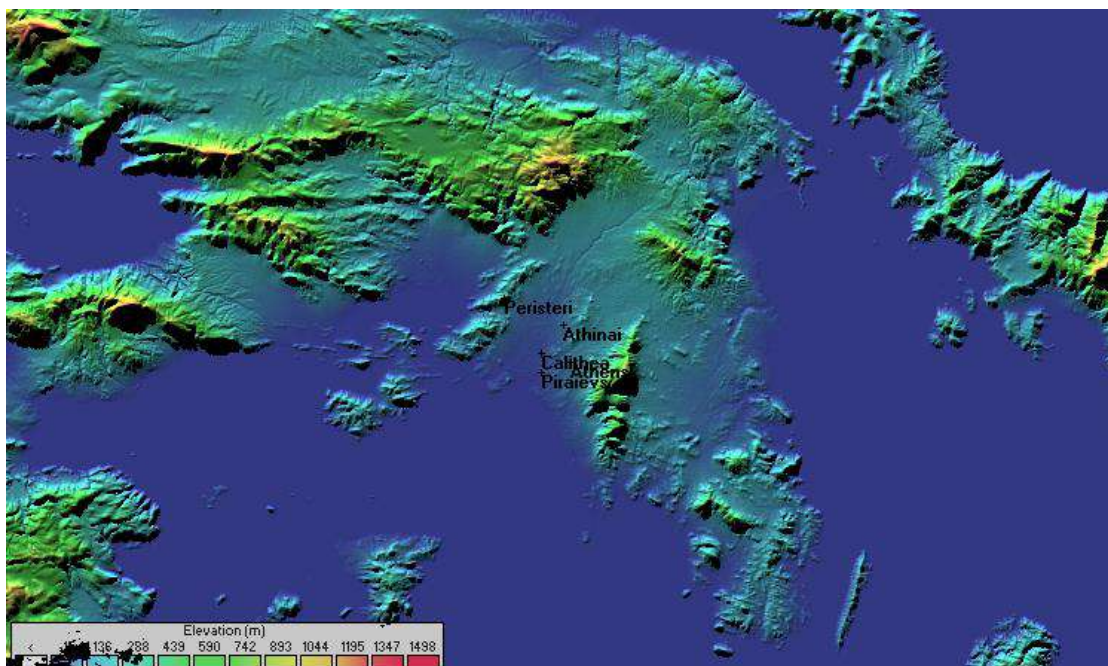


Εικόνα 8. 100: Gray scale (Athens)

Στην επιλογή Shadow, δίνονται οι ακόλουθες τιμές για να σχεδιαστούν οι σκιές πίσω από τα βουνά:

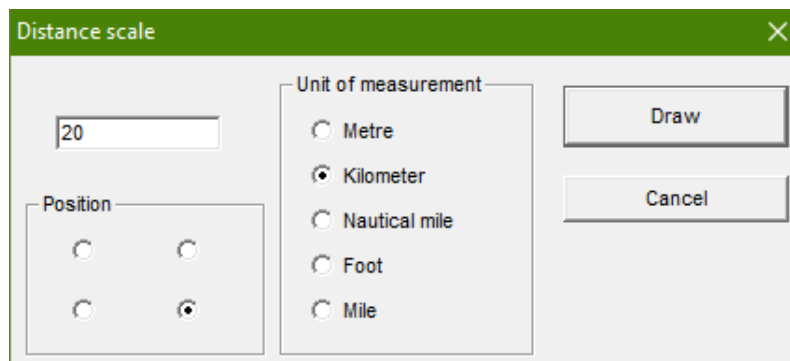


Εικόνα 8. 101: Shadow – example



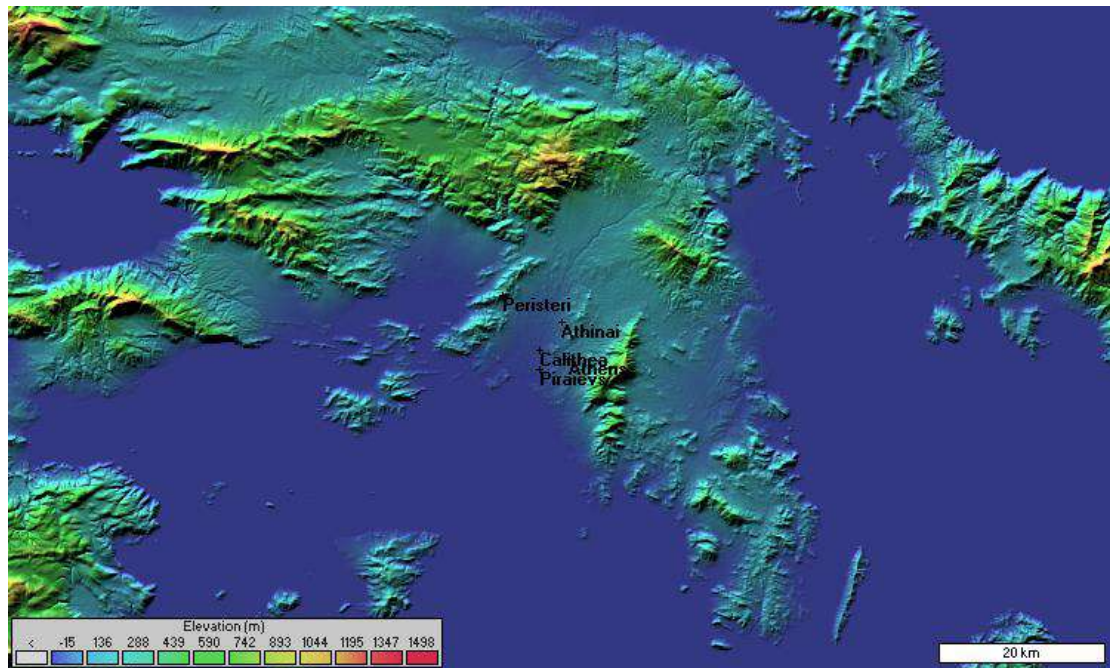
Εικόνα 8. 102: Shadow (Athens)

Στο Distance scale δίνονται οι ακόλουθες τιμές:



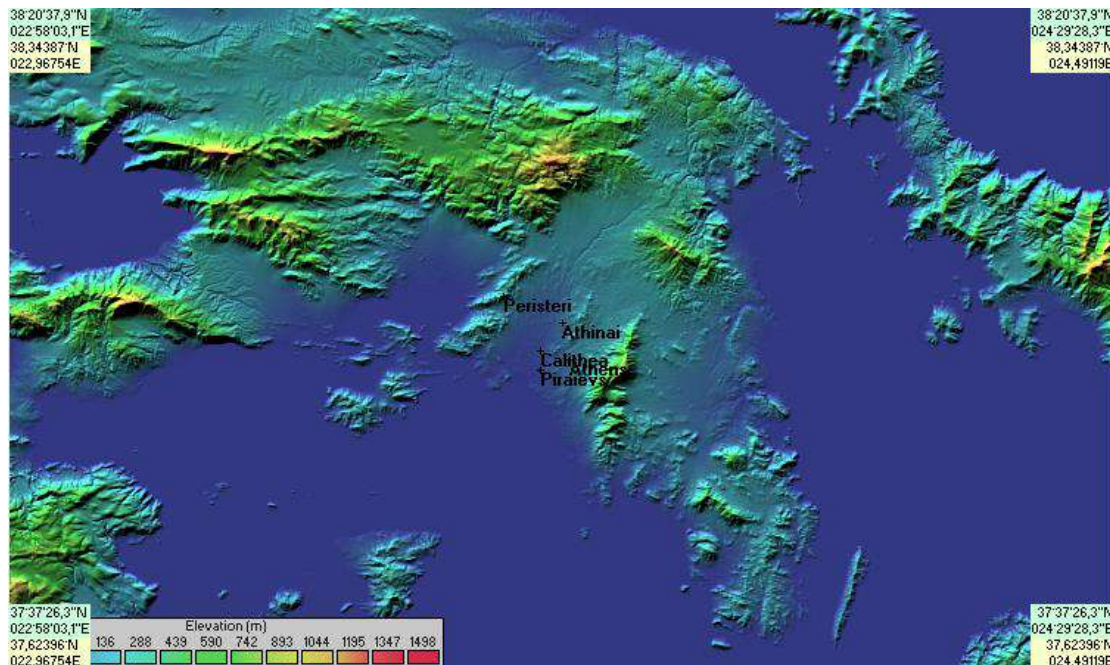
Εικόνα 8. 103: Distance scale – example

Έτσι κάτω αριστερά εμφανίζεται η ένδειξη 20 km.



Εικόνα 8. 104: Distance scale (Athens)

Με την επιλογή Corner coordinates, εμφανίζονται στις τέσσερις γωνίες, οι συντεταγμένες.

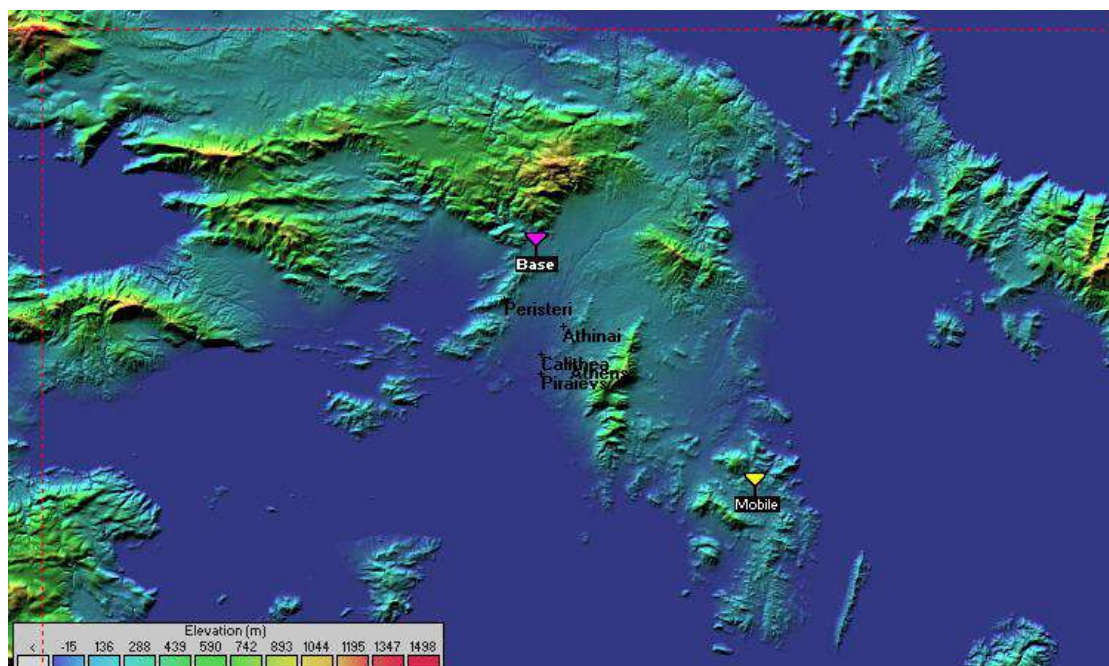


Εικόνα 8. 105: Corner coordinates



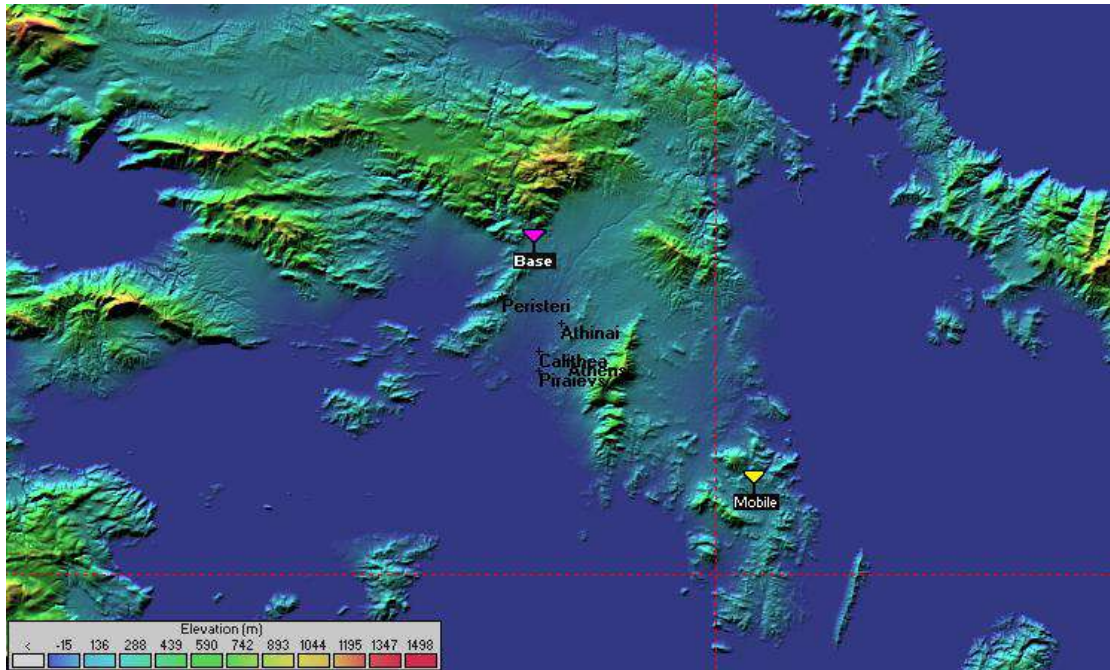
Εικόνα 8. 106: Elevation grid (Athens)

Με την επιλογή Find peak elevation, τοποθετείται ο κέρσορας στο σημείο του χάρτη όπου η ανύψωση είναι η μέγιστη. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, βρίσκεται πάνω αριστερά στον χάρτη.



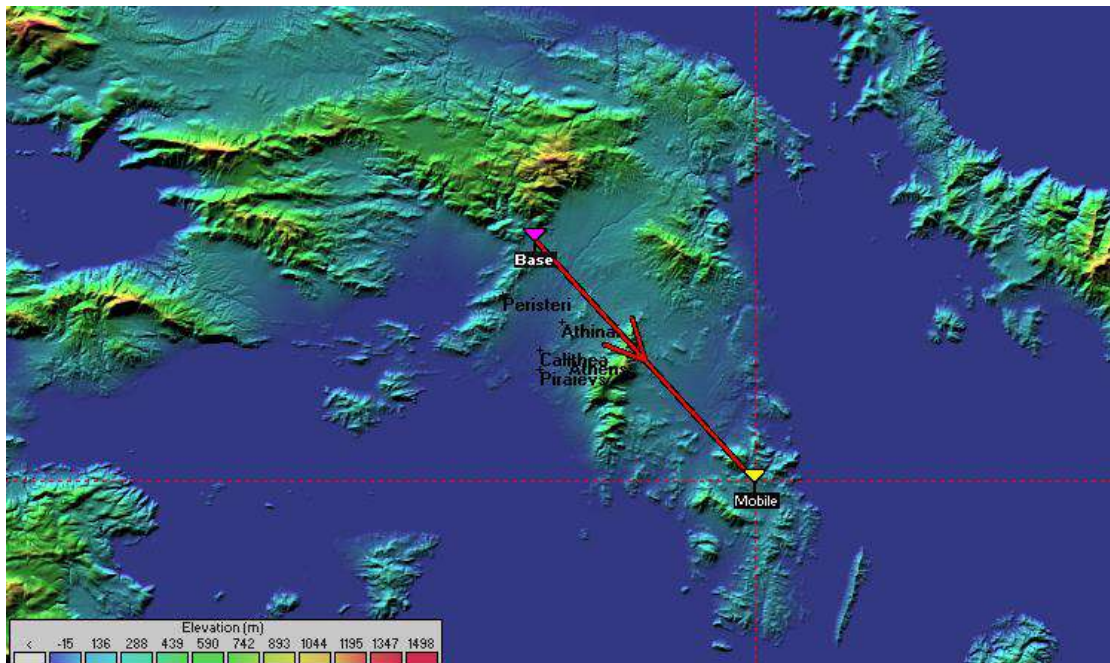
Εικόνα 8. 107: Find peak elevation (Athens)

Αντίστοιχα, με την επιλογή Find lowest elevation τοποθετείται ο κέρσορας στο σημείο του χάρτη όπου η ανύψωση είναι η ελάχιστη. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, βρίσκεται κάτω προς τα δεξιά στον χάρτη.

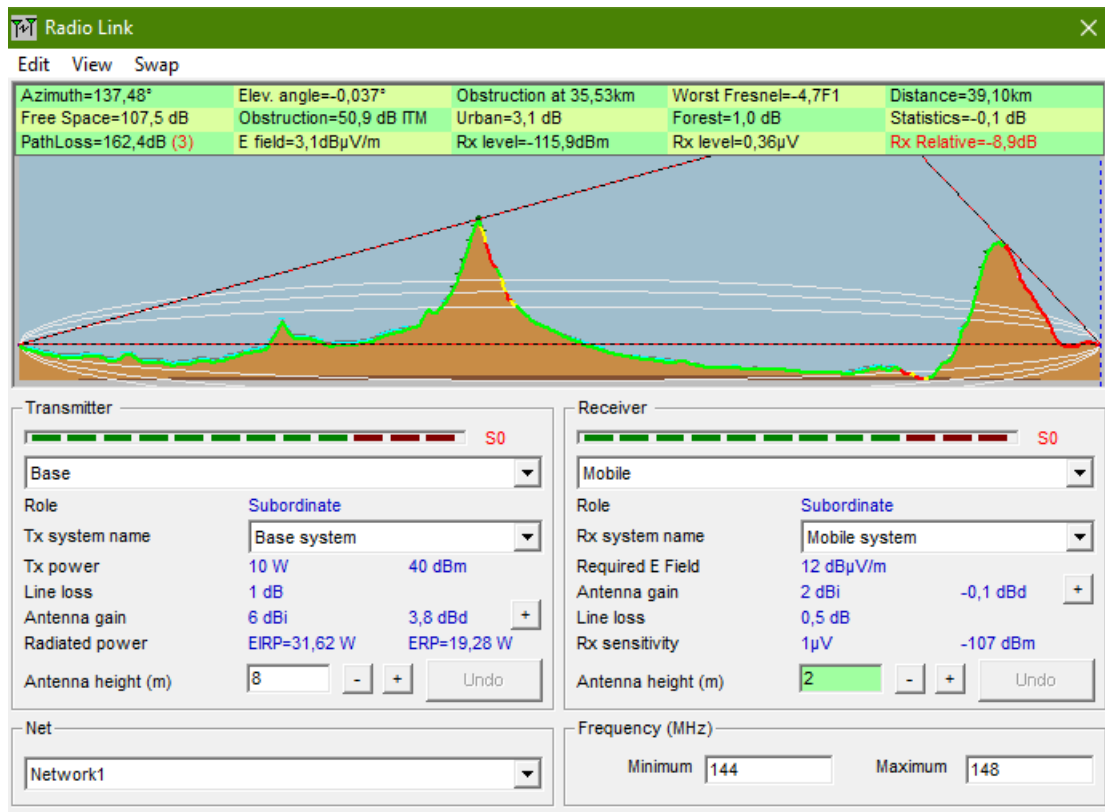


Εικόνα 8. 108: Find lowest elevation (Athens)

Στην συνέχεια, επιλέγεται η επιλογή Radio link από το Tools, για να γίνει η ανάλυση της διαδρομής.

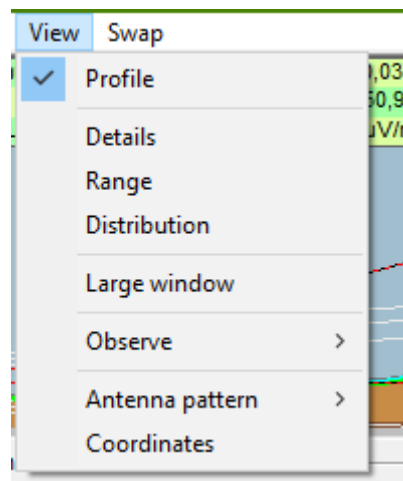


Εικόνα 8. 109: Radio link - map (Athens)



Εικόνα 8. 110: Radio link - network1

Στην εικόνα 8.110 απεικονίζεται το Radio link Profile, που επιλέγεται από το View.



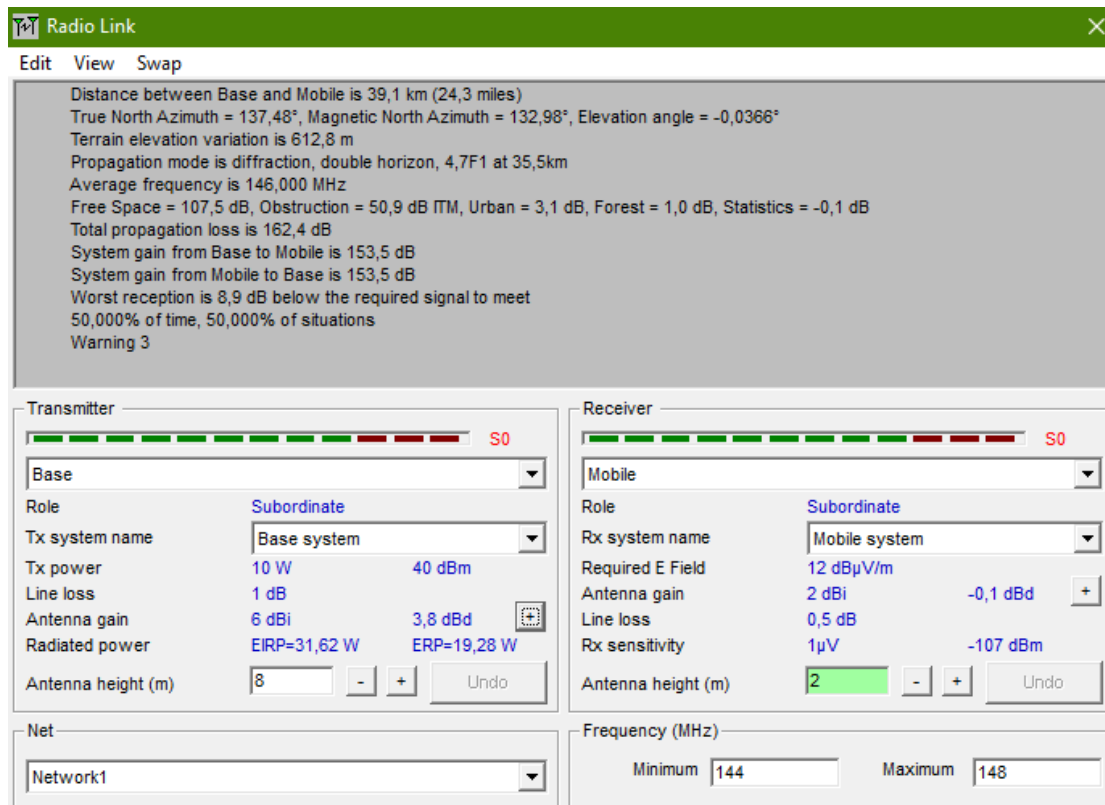
Εικόνα 8. 111: Radio link view

Εμφανίζει την διαδρομή σε δισδιάστατη μορφή. Η γραμμή που συνδέει την μονάδα του πομπού και την μονάδα του δέκτη, εμφανίζεται με μία ευθεία. Εμφανίζεται επίσης, η πραγματική διαδρομή από τον πομπό στον δέκτη, που επηρεάζεται από εμπόδια. Οι

ζώνες Fresnel απεικονίζονται με λευκές γραμμές. Στην πάνω γραμμή περιγράφονται χαρακτηριστικά της ραδιοδιάδοσης. Το αζιμούθιο από τον πομπό στον δέκτη, είναι $137,48^\circ$. Η γωνία ανύψωσης (elev. angle) σε σχέση με την γη, είναι $-0,037^\circ$. Στη συνέχεια, στο obstruction φαίνεται η απόσταση σε χιλιόμετρα μεταξύ του πομπού και του εμποδίου, η οποία είναι 35,53 km. Στο worst Fresnel περιγράφεται η απόσταση από το έδαφος, η οποία εκφράζεται ως συντελεστής του F1 και είναι $-4,7F1$. Η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη, είναι 39,10 km και φαίνεται στο distance. Η απώλεια ελεύθερου χώρου (free space loss) είναι 107,5 dB. Η απώλεια λόγω εμποδίων (obstruction) είναι 50,9 dB. Η απώλεια λόγω ύπαρξης κτηρίων (urban) είναι 3,1 dB και λόγω ύπαρξης βλάστησης (forest), είναι 1,0 dB. Τέλος, τα στατιστικά είναι $-0,1$ dB. Η συνολική απώλεια διαδρομής (path loss) μεταξύ του πομπού και του δέκτη είναι 162,4 dB. Το ηλεκτρικό πεδίο στην κεραία του δέκτη είναι $3,1$ dBμV/m. Η ισχύς σήματος που λήφθηκε (Rx level) είναι $-115,9$ dBm και αντίστοιχα $0,36$ μV. Το σήμα σε σχέση με την ευαισθησία του Rx (Rx relative), είναι $-8,9$ dB.

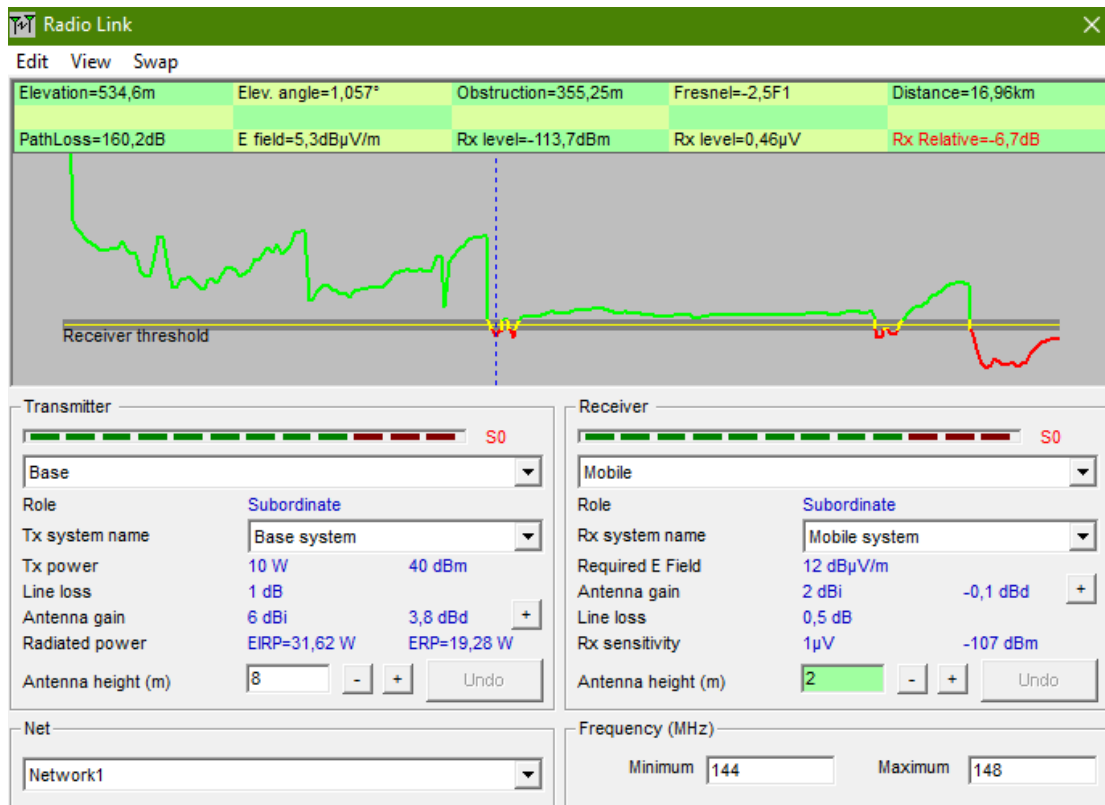
Στο Net φαίνεται το όνομα του δικτύου που δώθηκε προηγουμένως, το οποίο είναι Network1 και στο Frequency, οι συχνότητες του δικτύου, που ορίστηκαν στο Network properties. Στο πλαίσιο Transmitter, περιγράφονται όλα τα χαρακτηριστικά του πομπού, όπως το όνομα της μονάδας και το όνομα του συστήματος της μονάδας. Η ισχύς της μονάδας μετάδοσης (Tx power) είναι 10 W και αντίστοιχα, 40 dB. Η απώλεια διαδρομής μεταξύ του πομπού και της κεραίας της μονάδας μετάδοσης (line loss), είναι 1dB. Το κέρδος της κεραίας (antenna gain) είναι 6 dBi και αντίστοιχα, 3,2 dBd. Η ισχύς που ακτινοβολείται (radiated power), σε EIRP (Effective Isotropic Radiated Power) και ERP (Effective Radiated Power), είναι $EIRP = 31,62$ W και $ERP = 19,28$ W. Τέλος, απεικονίζεται το ύψος της κεραίας (antenna height), που ορίστηκε στο Network properties και είναι 8 μέτρα.

Στο πλαίσιο Receiver, περιγράφονται με τον ίδιο τρόπο όλα τα χαρακτηριστικά του δέκτη, όπως το όνομα της μονάδας και το όνομα του συστήματος της μονάδας. Το απαιτούμενο ηλεκτρικό πεδίο στον δέκτη (Required E field), είναι 12 dBμV/m. Η απώλεια διαδρομής μεταξύ του πομπού και της κεραίας της μονάδας μετάδοσης (line loss), είναι 0,5 dB. Το κέρδος της κεραίας (antenna gain) είναι 2 dBi και αντίστοιχα, $-0,1$ dBd. Η ευαισθησία του Rx δέκτη (Rx sensitivity), είναι 1 μV και αντίστοιχα, -107 dBm. Τέλος, απεικονίζεται το ύψος της κεραίας (antenna height), που ορίστηκε στο Network properties και είναι 2 μέτρα.



Εικόνα 8. 112: Radio link – details

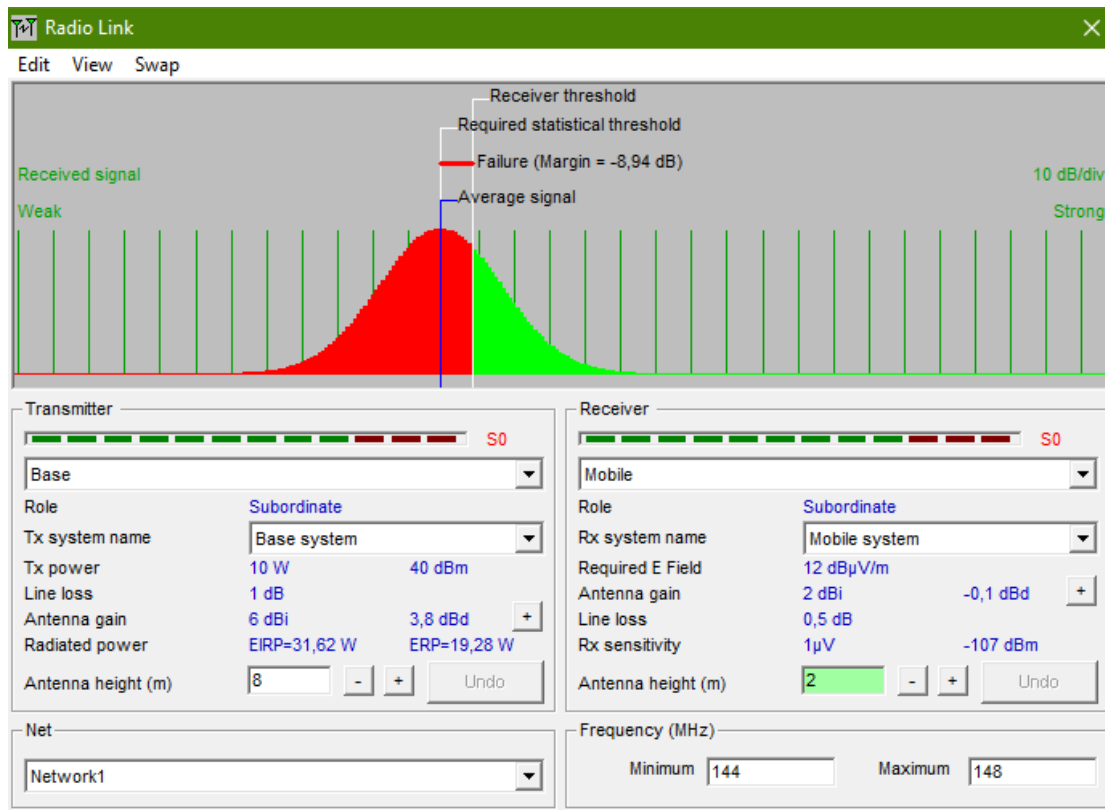
Στην εικόνα 8.112 απεικονίζεται το Radio link details, που επιλέγεται από το View. Εδώ περιγράφονται περισσότερο αναλυτικά, τα χαρακτηριστικά της διαδρομής που αναφέρθηκαν και στο Profile. Αρχικά, αναφέρει πως η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη, είναι 39,1 χιλιόμετρα. Το true north azimuth, που είναι ο αληθινός βορράς, ισούται με 137,48° και το magnetic north azimuth, ισούται με 132,98°. Η γωνία ανύψωσης, όπως και πριν, είναι -0,0366°. Η διακύμανση της ανύψωσης του εδάφους (terrain elevation variation), είναι 612,8 μέτρα. Στο propagation mode απεικονίζεται ο τρόπος διάδοσης, ο οποίος είναι η περίθλαση και το πρώτο εμπόδιο 4,7F1, βρίσκεται στα 35,5 μέτρα από τον πομπό. Η μέση συχνότητα φαίνεται ότι είναι 146 MHz. Στη συνέχεια, περιγράφονται οι τιμές των απωλειών ξεχωριστά και της συνολικής απώλειας, που είναι οι ίδιες που αναφέρθηκαν στο Profile. Το κέρδος του συστήματος από το Base στο Mobile και από το Mobile στο Base, είναι 153,5 dB. Στο worst reception περιγράφεται η χαμηλότερη ισχύς του λαμβανόμενου σήματος, που είναι 8,9 dB.



Εικόνα 8. 113: Radio link – Range

Στην εικόνα 8.113 απεικονίζεται το Radio link range, που επιλέγεται από το View. Η επιλογή αυτή δείχνει τη συμπεριφορά της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος, από τον πομπό προς τον δέκτη. Η ανύψωση (elevation), είναι 534,6 μέτρα. Η γωνία ανύψωσης (elevation angle) σε σχέση με την γη, είναι 1,057°. Στη συνέχεια, στο obstruction φαίνεται η απόσταση σε χιλιόμετρα μεταξύ του πομπού και του εμποδίου, η οποία είναι 355,25 μέτρα. Στο Fresnel περιγράφεται η απόσταση από το έδαφος, η οποία εκφράζεται ως συντελεστής του F1 και είναι -2,5F1. Η απόσταση είναι 16,96 km και φαίνεται στο distance. Η απώλεια διαδρομής (path loss) είναι 160,2 dB. Το ηλεκτρικό πεδίο στην κεραία του δέκτη είναι 5,3 dBμV/m. Η ισχύς σήματος που λήφθηκε (Rx level) είναι -113,7 dBm και αντίστοιχα 0,46 μV. Το σήμα σε σχέση με την ευαισθησία του Rx (Rx relative), είναι -6,7 dB.

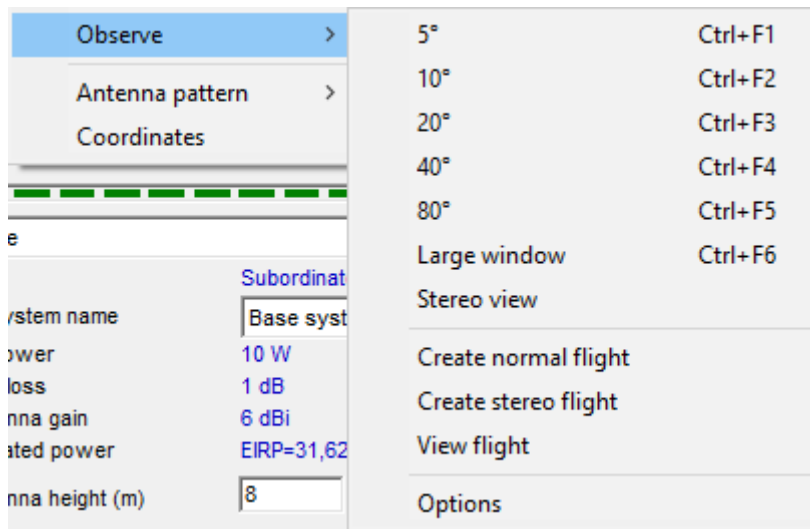
Στην εικόνα 8.114 απεικονίζεται το Radio link distribution, που επιλέγεται από το View και περιγράφει την πιθανότητα που ισχύει γι' αυτόν τον ραδιοσύνδεσμο.



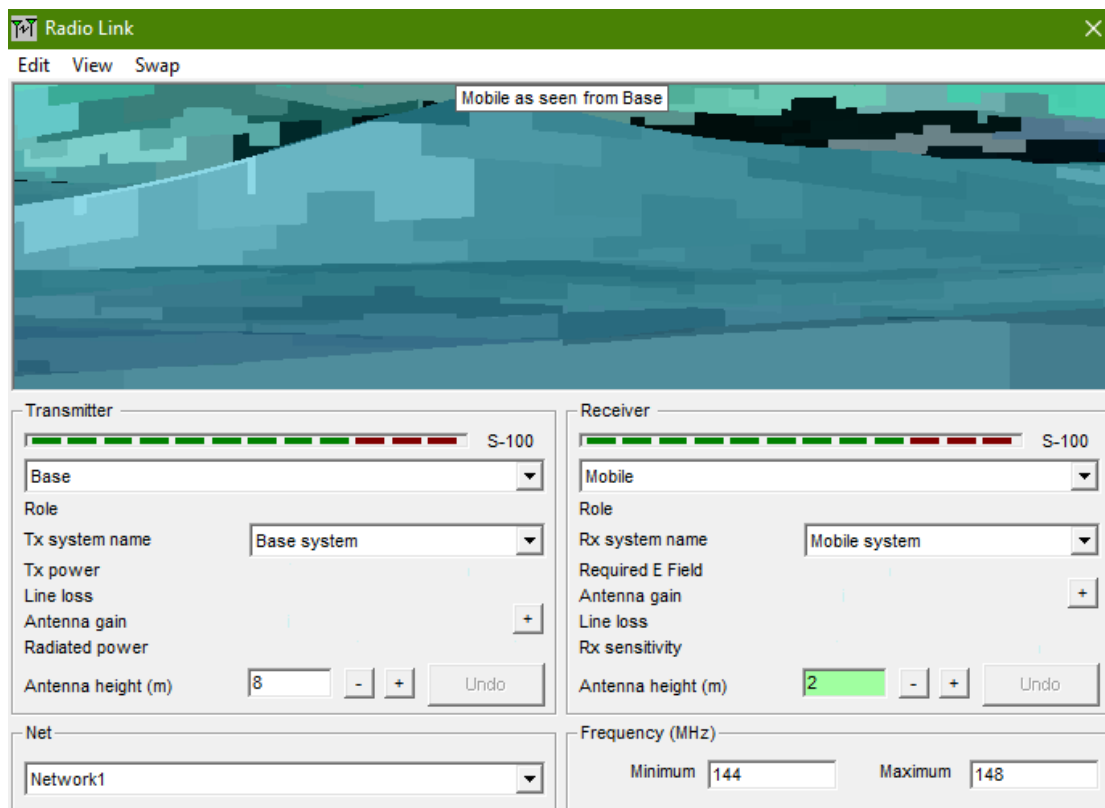
Εικόνα 8. 114: Radio link - distribution

Η κλίμακα ξεκινάει να δείχνει από αδύναμη και καταλήγει σε ισχυρή. Με κόκκινο χρώμα στο διάγραμμα, απεικονίζονται τα σήματα που βρίσκονται κάτω από το όριο του δέκτη. Ενώ με πράσινο, απεικονίζονται τα σήματα που βρίσκονται πάνω από το όριο. Το receiver threshold δείχνει το ελάχιστο σήμα, στο οποίο ο δέκτης εκτελείται με τα ελάχιστα απαιτούμενα κριτήρια. Το required statistical threshold δείχνει το ελάχιστο σήμα που απαιτείται, πάνω από το όριο του δέκτη. Το average signal απεικονίζει το μέσο σήμα, στην περιοχή του δέκτη. Τέλος, το margin δείχνει την απόσταση μεταξύ του receiver threshold και του required statistical threshold.

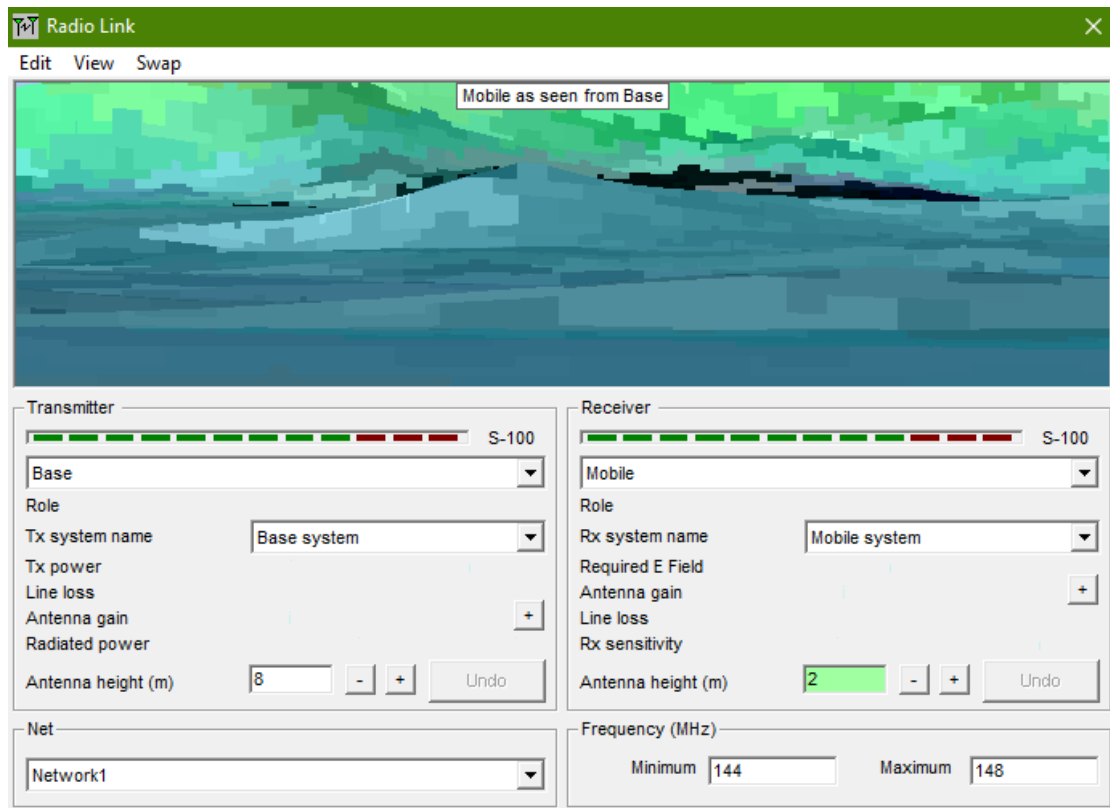
Με την επιλογή Large window, που βρίσκεται στη συνέχεια στο View, εμφανίζεται η διαδρομή σε μεγάλη πλήρη οθόνη. Με την λειτουργία Observe από το View, εμφανίζεται η προβολή από την κεραία του πομπού προς την κατεύθυνση του δέκτη, μέσω του ραδιοφωνικού συνδέσμου. Οι γωνίες από τις οποίες μπορεί να γίνει η προβολή είναι 5°, 10°, 20°, 40° και 80°.



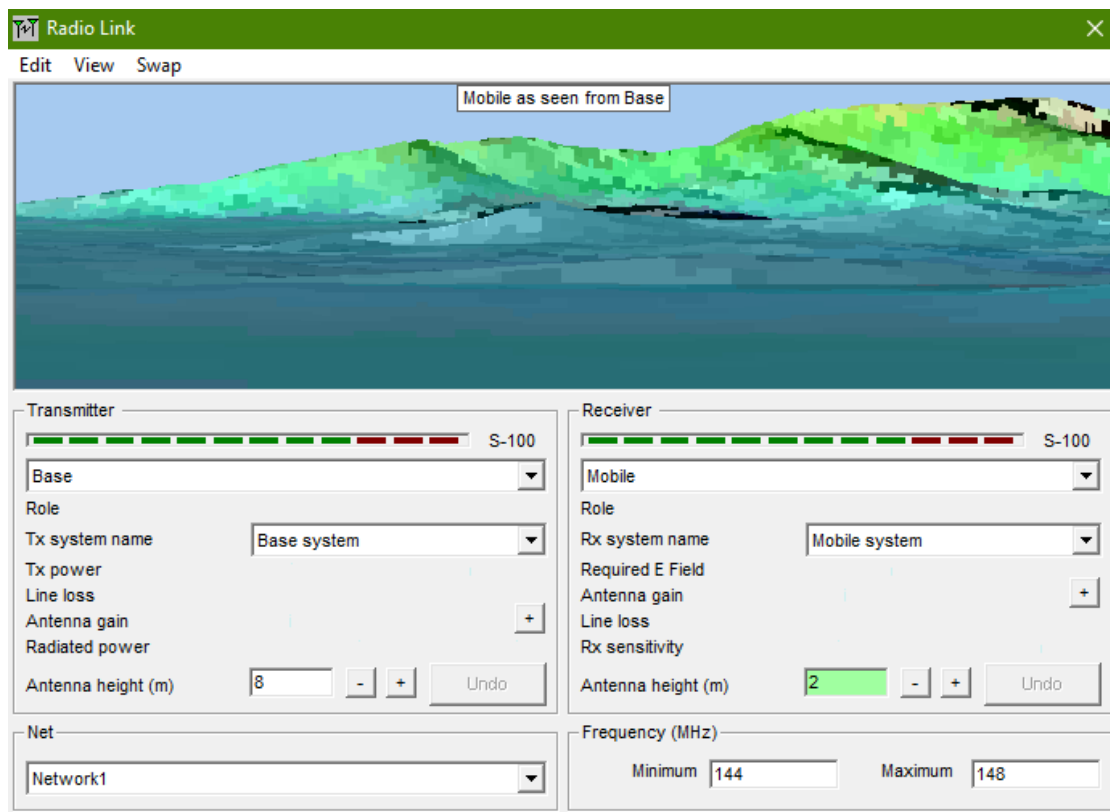
Εικόνα 8. 115: Radio link - View – Observe



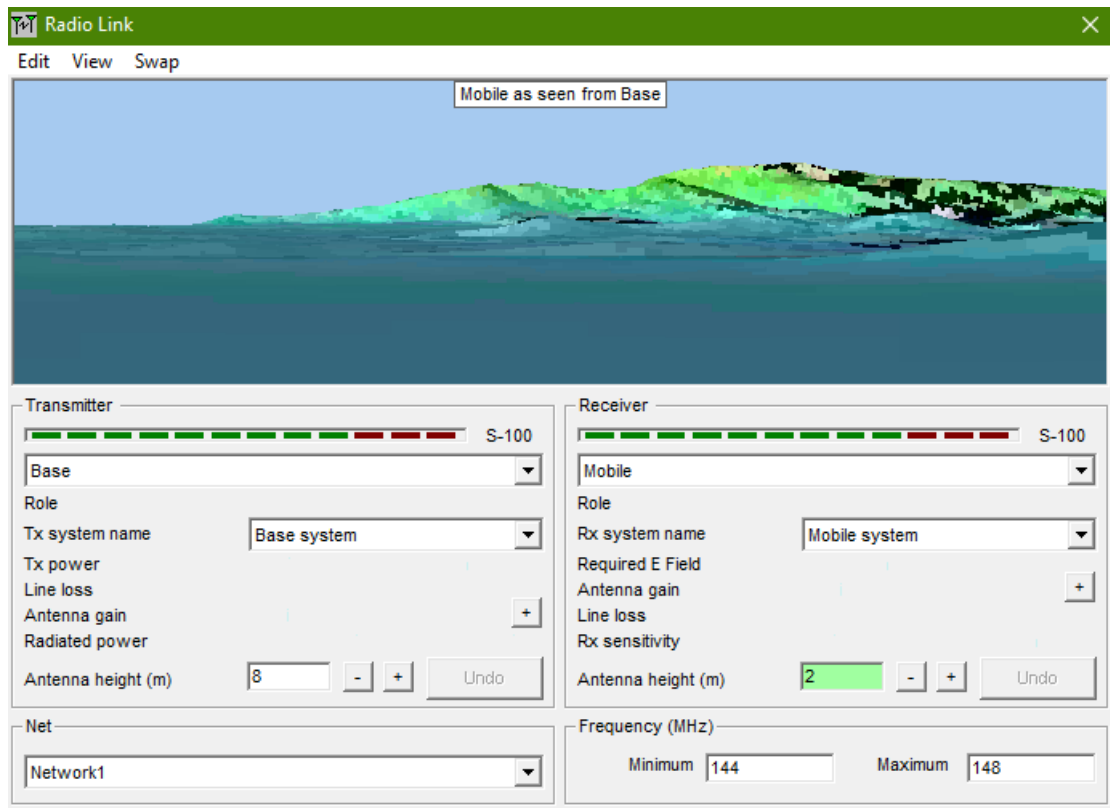
Εικόνα 8. 116: Observe – 5°



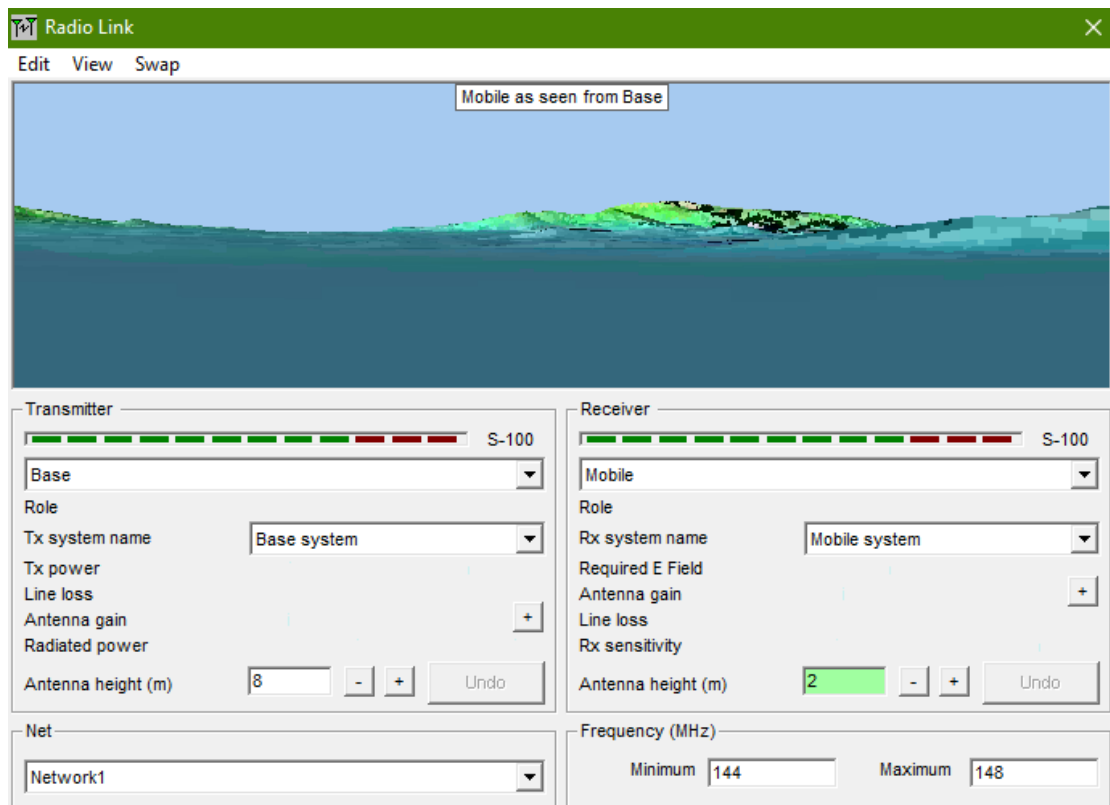
Εικόνα 8. 117: Observe – 10°



Εικόνα 8. 118: Observe – 20°

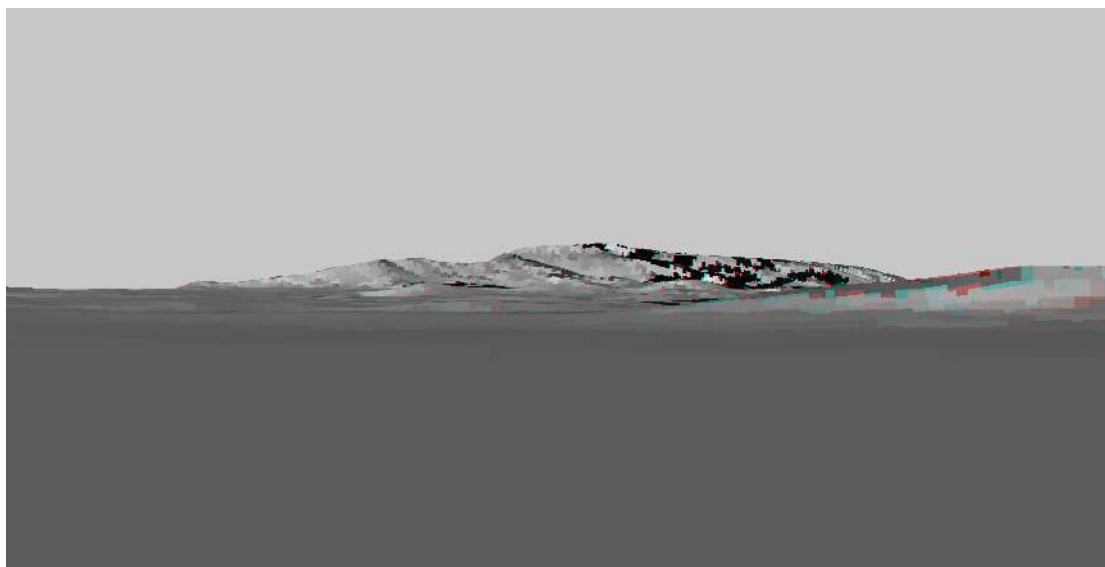


Εικόνα 8. 119: Observe – 40°



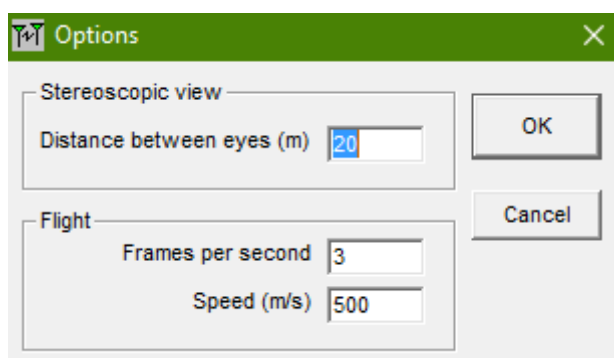
Εικόνα 8. 120: Observe – 80°

Στις παραπάνω εικόνες δεν ήταν ορατή η κεραία του Mobile. Σε περίπτωση που ήταν ορατή, θα απεικονιζόταν με έναν άσπρο κύκλο. Με την επιλογή Stereo view (View – Observe), εμφανίζεται η παρακάτω εικόνα ανάλογα με την γωνία προβολής που έχει επιλεγθεί.



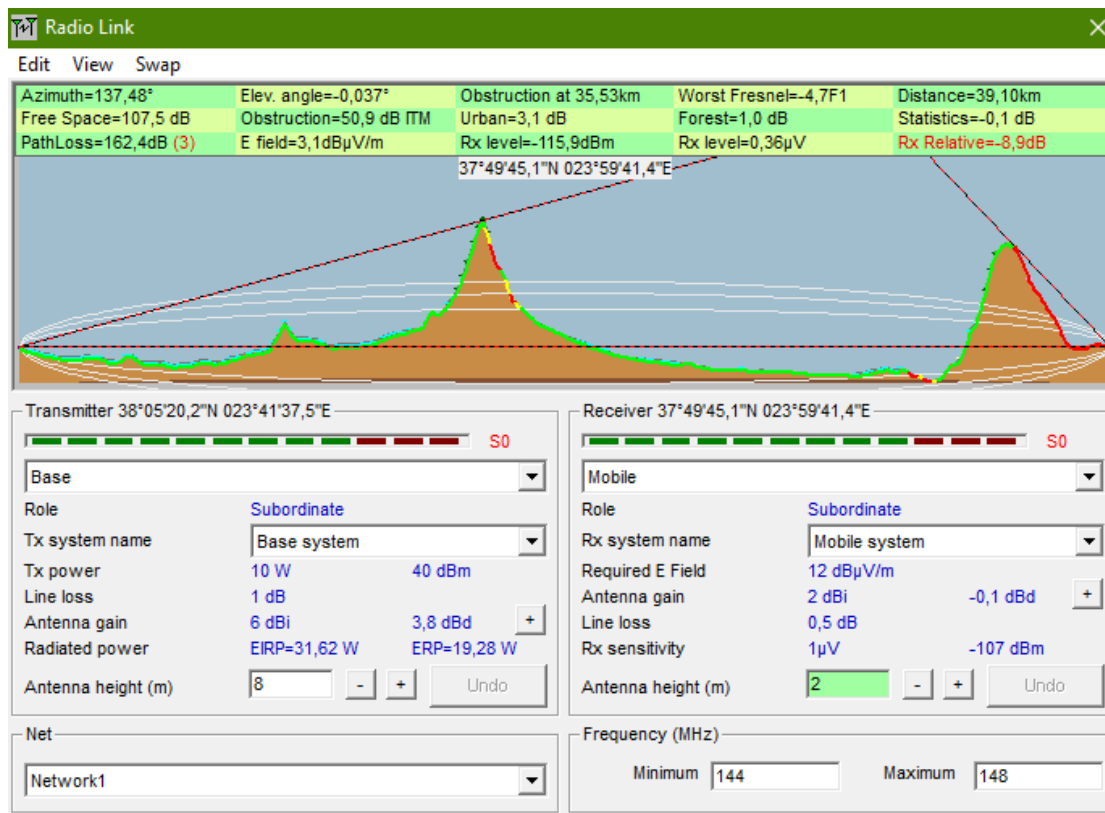
Εικόνα 8. 121: View - Observe - Stereo view

Με τις επιλογές Create normal flight και Create stereo flight από το Observe, δημιουργείται ένα βίντεο που δείχνει την διαδρομή από το Base έως το Mobile, σε κανονική και σε stereo μορφή. Με το View flight επαναλαμβάνεται το βίντεο της διαδρομής. Τέλος, στην επιλογή Options εμφανίζονται οι ρυθμίσεις, που αφορούν τα βίντεο που δημιουργήθηκαν.



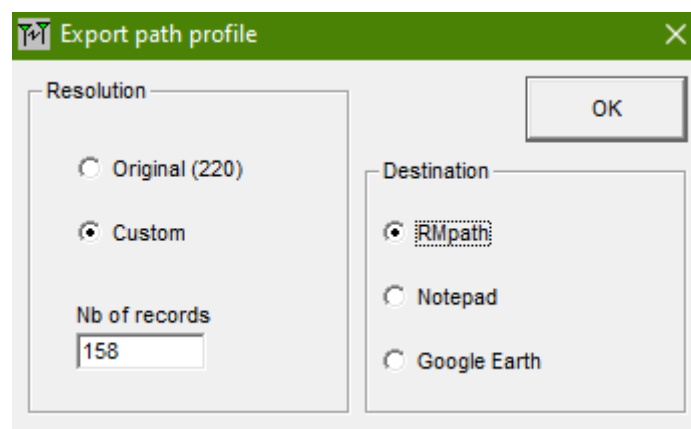
Εικόνα 8. 122: View - Observe – Options

Τέλος, με την επιλογή Antenna pattern από το View, ρυθμίζεται ο τρόπος με τον οποίο εμφανίζεται η κεραία και με την επιλογή Coordinates, εμφανίζονται οι συντεταγμένες των Base και Mobile.

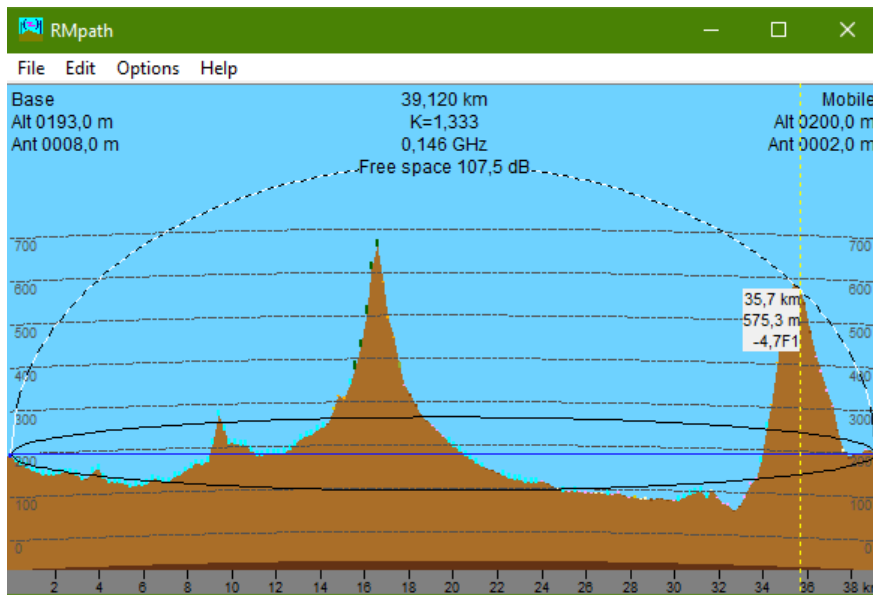


Εικόνα 8. 123: View – Coordinates

Με το Export το που βρίσκεται στο Edit από το μενού του Radio link, εμφανίζεται η καμπυλότητα της γης και ο παράγοντας K.

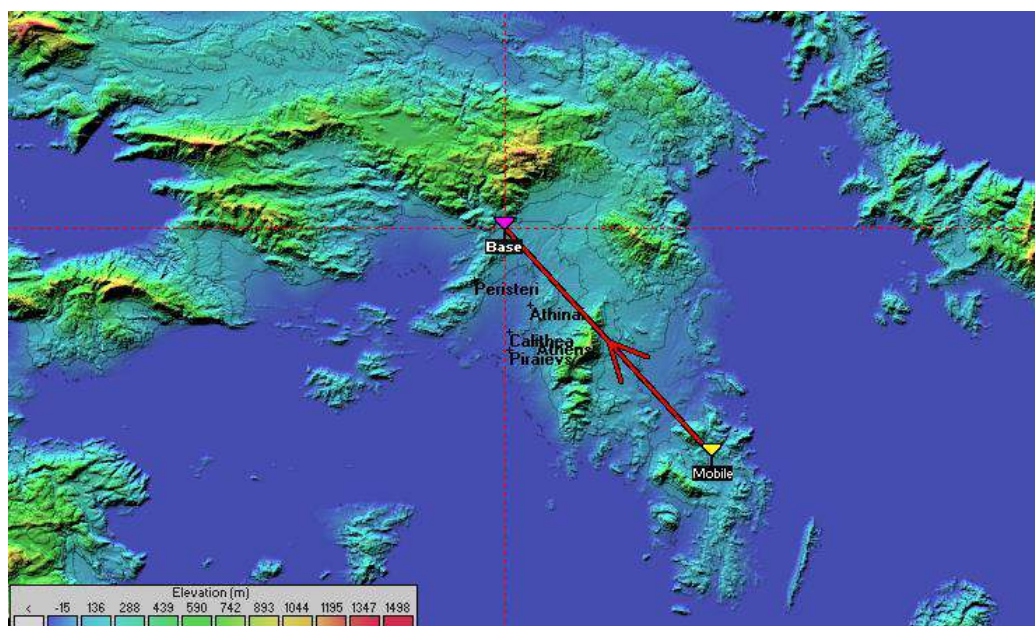


Εικόνα 8. 124: Export path profile

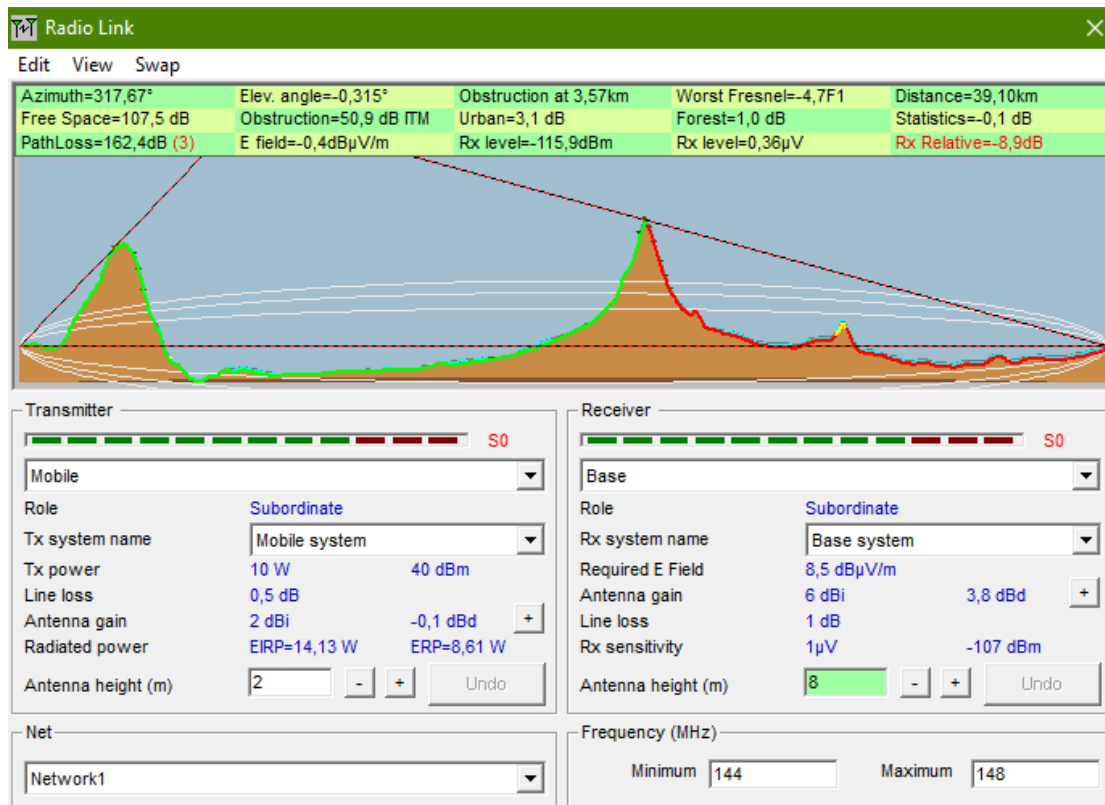


Εικόνα 8. 125: Καμπυλότητα της γης

Με το Swap, που είναι η τρίτη επιλογή από το μενού του Radio link, αλλάζει την διαδρομή από το Base προς το Mobile και γίνεται από το Mobile προς το Base. Επίσης, στο πλαίσιο Transmitter, μεταφέρεται το Mobile και όλα τα στοιχεία που περιγράφουν το Mobile. Αντίστοιχα, στο πλαίσιο Receiver, μεταφέρεται το Base και όλα τα στοιχεία που περιγράφουν το Base. Με αυτή την εναλλαγή, αλλάζουν και οι πληροφορίες της ραδιοσύνδεσης. Περιγράφονται, όπως και παραπάνω, απλώς έχουν διαφορετικές τιμές.



Εικόνα 8. 126: Swap (Rx to Tx)



Εικόνα 8. 127: Radio link (Rx to Tx)

Αφού ολοκληρώθηκε η ανάλυση του Radio link, στη συνέχεια γίνεται η ανάλυση του Radio coverage από το Tools, για το συγκεκριμένο παράδειγμα. Πρώτα, από τις επιλογές στο Radio coverage, εμφανίζεται το Single polar. Δίνονται οι παρακάτω τιμές.

Single polar Radio coverage

Centre unit: Base

Mobile unit: Mobile

Network: Network1

Link Direction:

- Centre Tx - Mobile Rx
- Centre Rx - Mobile Tx
- Worst case

Radial range (km):

Minimum: 0,1 Maximum: 100

Plot:

- Contour line
- Fill area
- Solid
- Network style
- Rainbow
- Blur
- Complete.wav

Azimuth range (°):

Minimum: 0 Maximum: 360 Step: 1

Antenna pattern:

Use network antenna settings

omni.ant

View pattern

Threshold:

- S-Unit
- dBm
- µV
- dBµV/m

From: 1 To: 40

Auto set

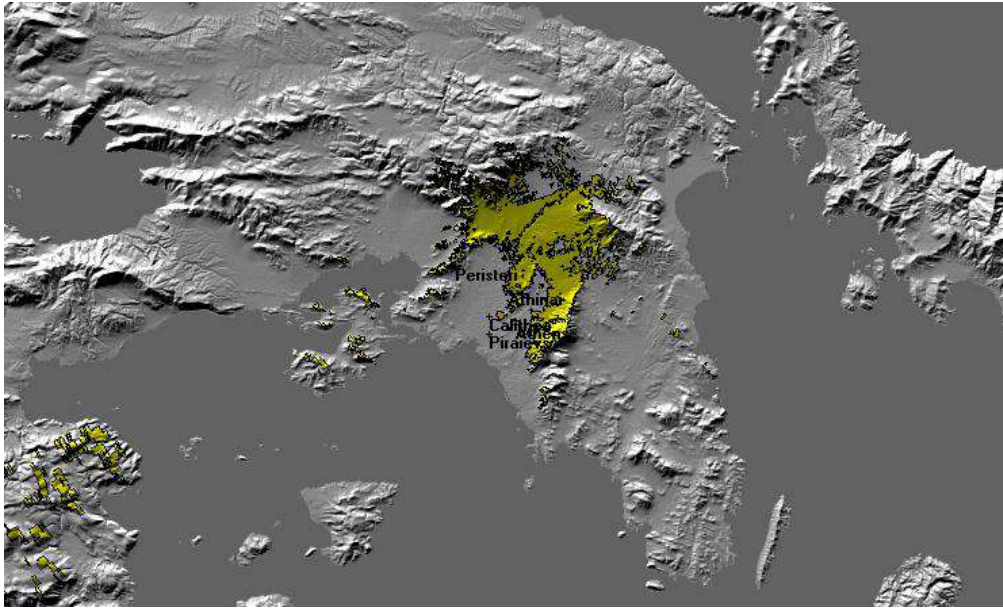
Draw Draw background Small

Save coverage data (TXT)

Draw Cancel

Εικόνα 8. 128: Single polar – example 1

Με βάση αυτές τις τιμές, παράγεται το παρακάτω αποτέλεσμα.



Εικόνα 8. 129: Single polar – example 1(Athens)

Single polar Radio coverage

Centre unit: Mobile

Mobile unit: Base

Network: Network1

Draw

Cancel

Link Direction

Centre Tx - Mobile Rx

Centre Rx - Mobile Tx

Worst case

Radial range (km)

Minimum: 0,1

Maximum: 100

Plot

Contour line B Color

Fill area

Solid

Network style

Rainbow

Blur

Complete.wav Color

Azimuth range (°)

Minimum: 0

Maximum: 360

Step: 1

Antenna pattern

Use network antenna settings

omni.ant

View pattern

Draw

Draw background

Small

Threshold

S-Unit Auto set

dBm

μ V

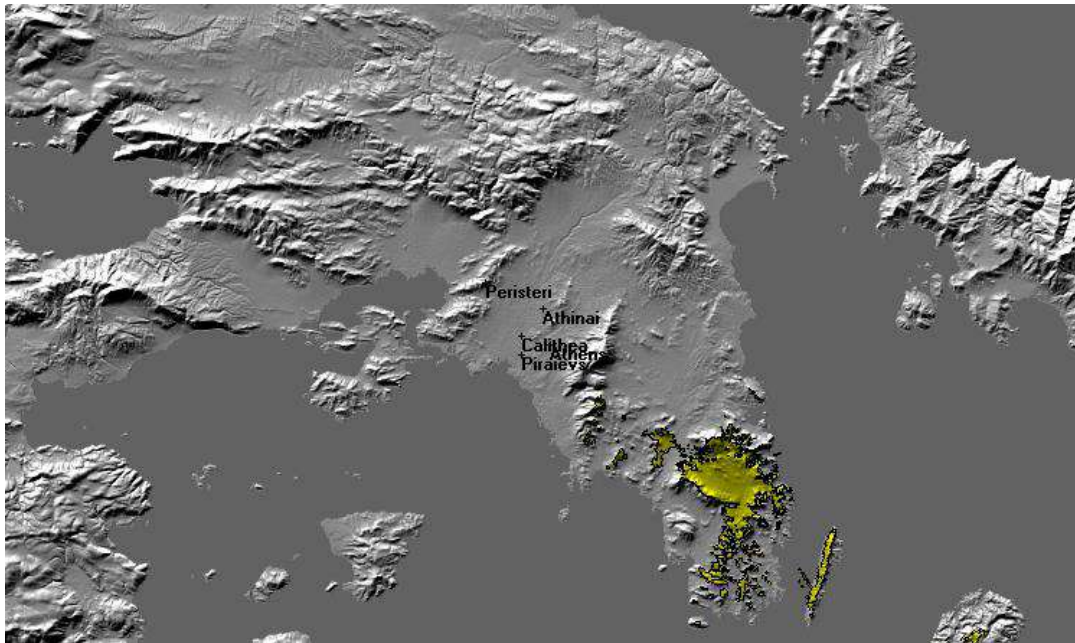
dB μ V/m

From: 1

To: 40

Save coverage data (TXT)

Εικόνα 8. 130: Single polar – example 2



Εικόνα 8. 131: Single polar – example 2 (Athens)

Single polar Radio coverage [X]

Centre unit: Base [Draw]

Mobile unit: Mobile [Cancel]

Network: Network1

Link Direction

Centre Tx - Mobile Rx

Centre Rx - Mobile Tx

Worst case

Radial range (km)

Minimum: 0,1 Maximum: 300

Plot

Contour line [B] [Color]

Fill area [Color]

Solid

Network style

Rainbow

Blur

Complete.wav [Color]

Antenna pattern

Use network antenna settings

omni.ant [View pattern]

Draw Draw background Small

Threshold

S-Unit Auto set

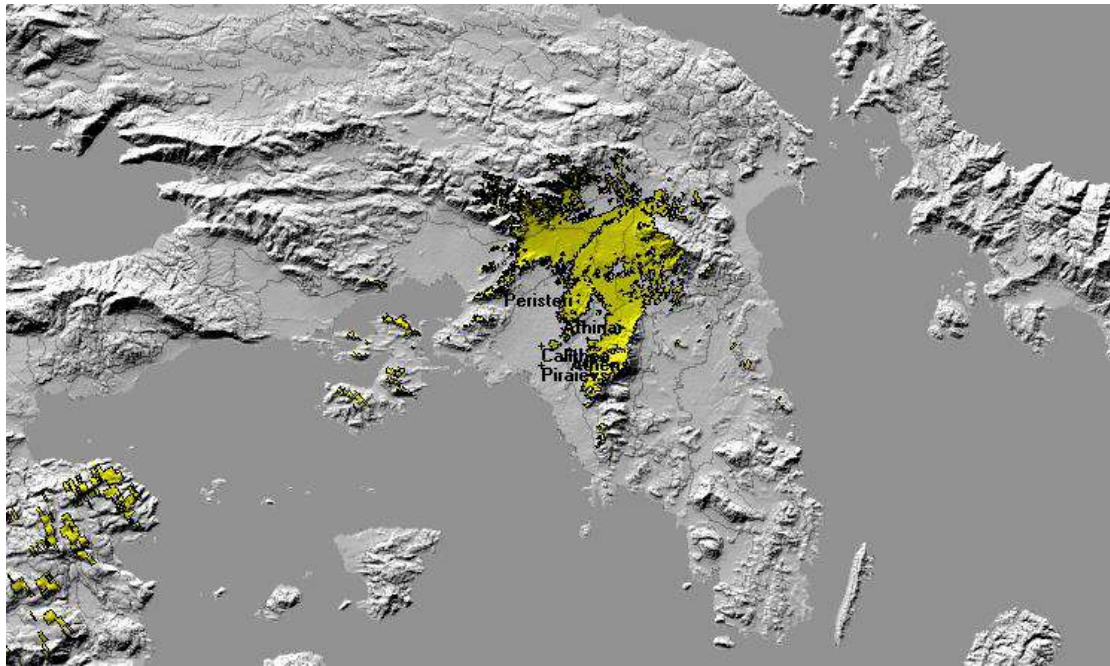
dBm From: 1

μ V To: 40

dB μ V/m

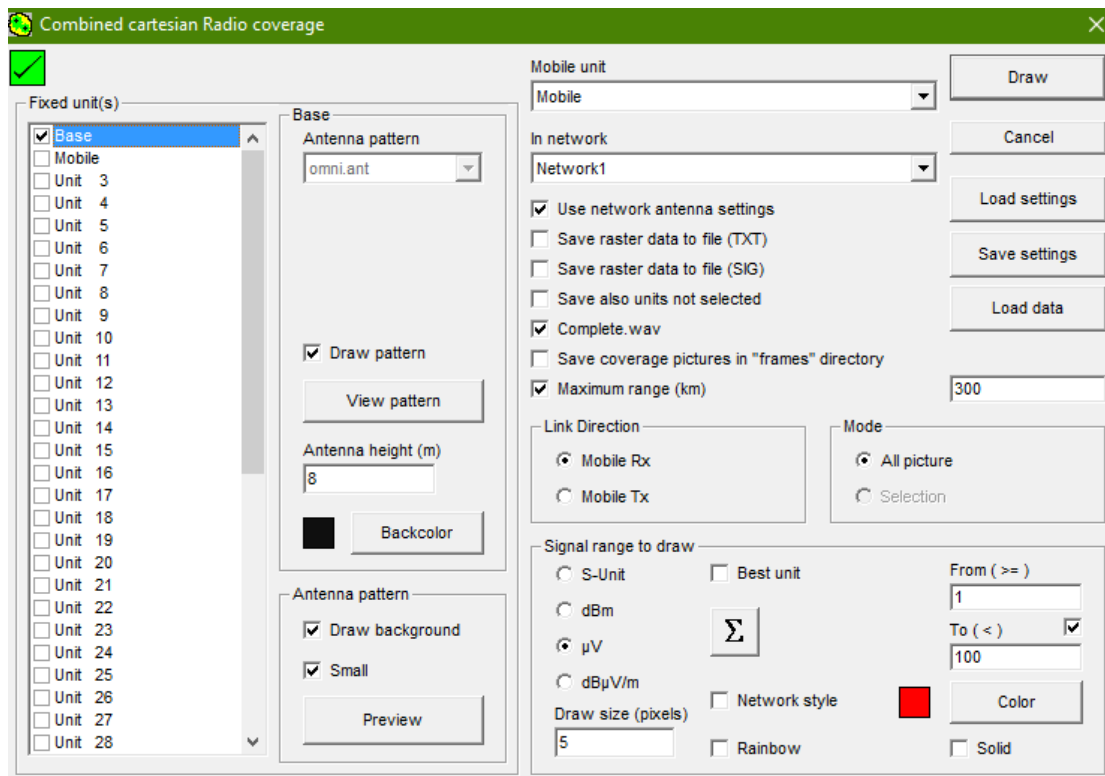
Save coverage data (TXT)

Εικόνα 8. 132: Single polar - example 3

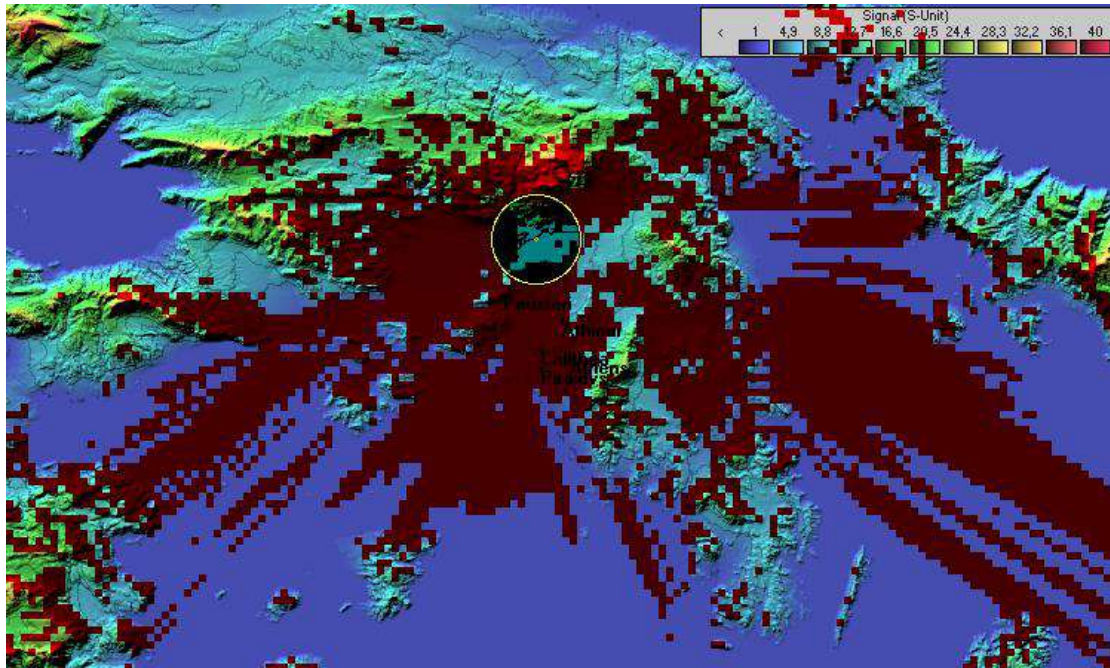


Εικόνα 8. 133: Single polar - example 3 (Athens)

Στη συνέχεια, στο Radio coverage δίνεται η ανάλυση του Combined cartesian.

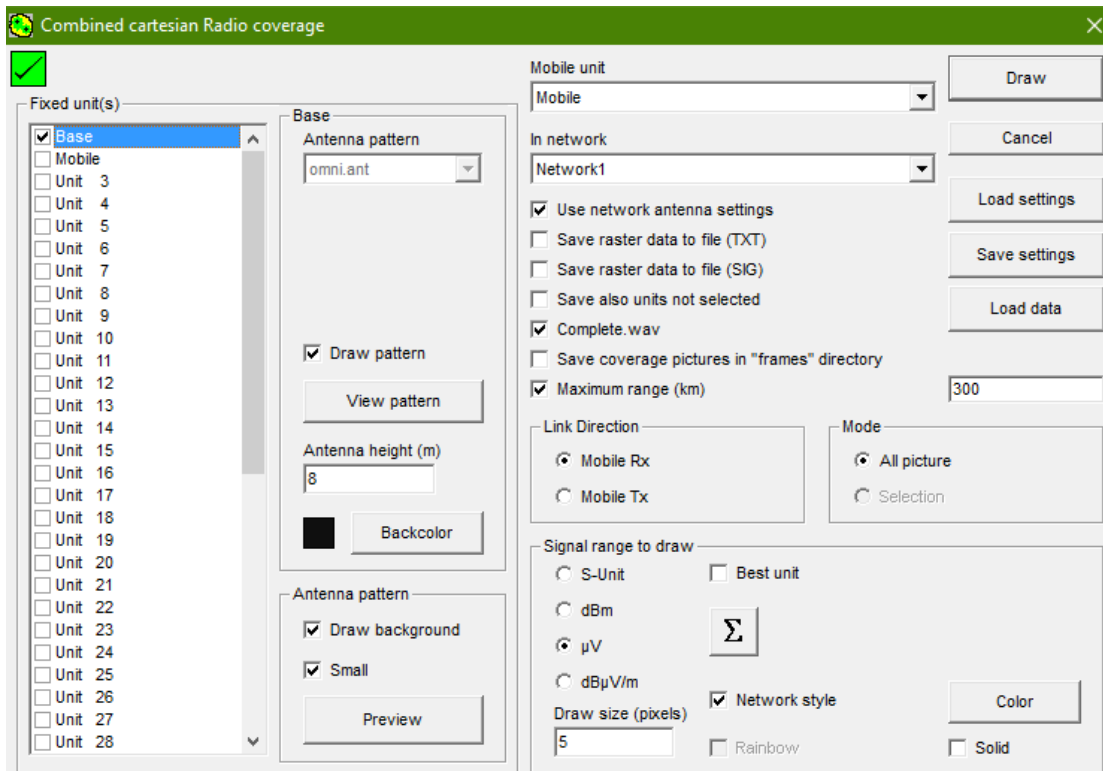


Εικόνα 8. 134: Combined cartesian - example 1

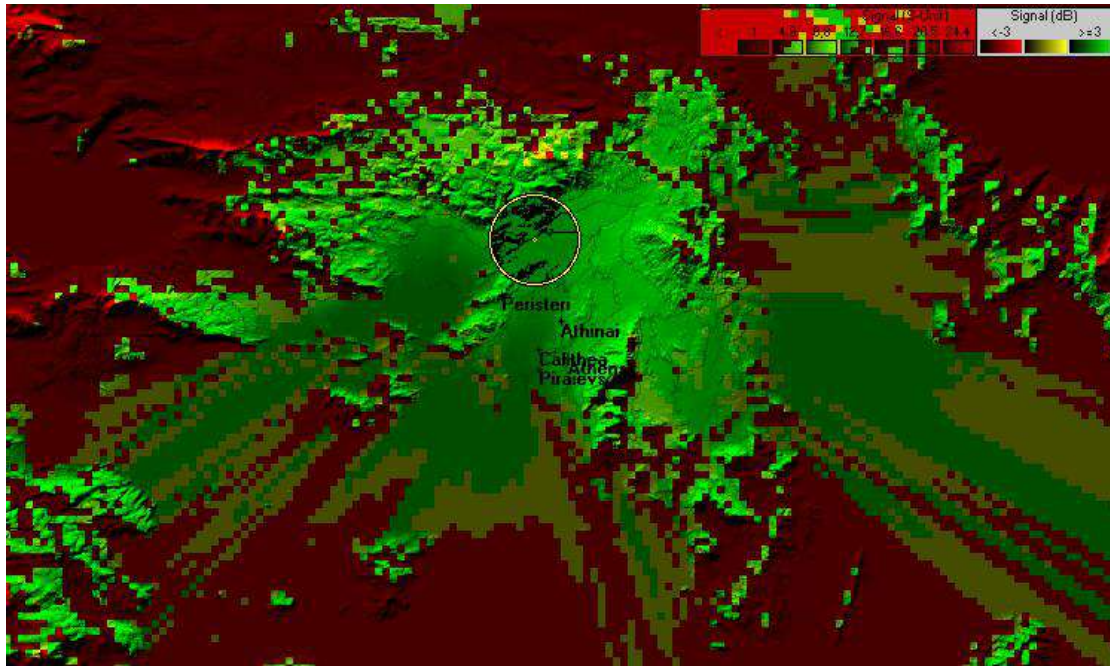


Εικόνα 8. 135: Combined Cartesian - example 1 (Athens)

Με το network style επιλεγμένο, προκύπτει το εξής:

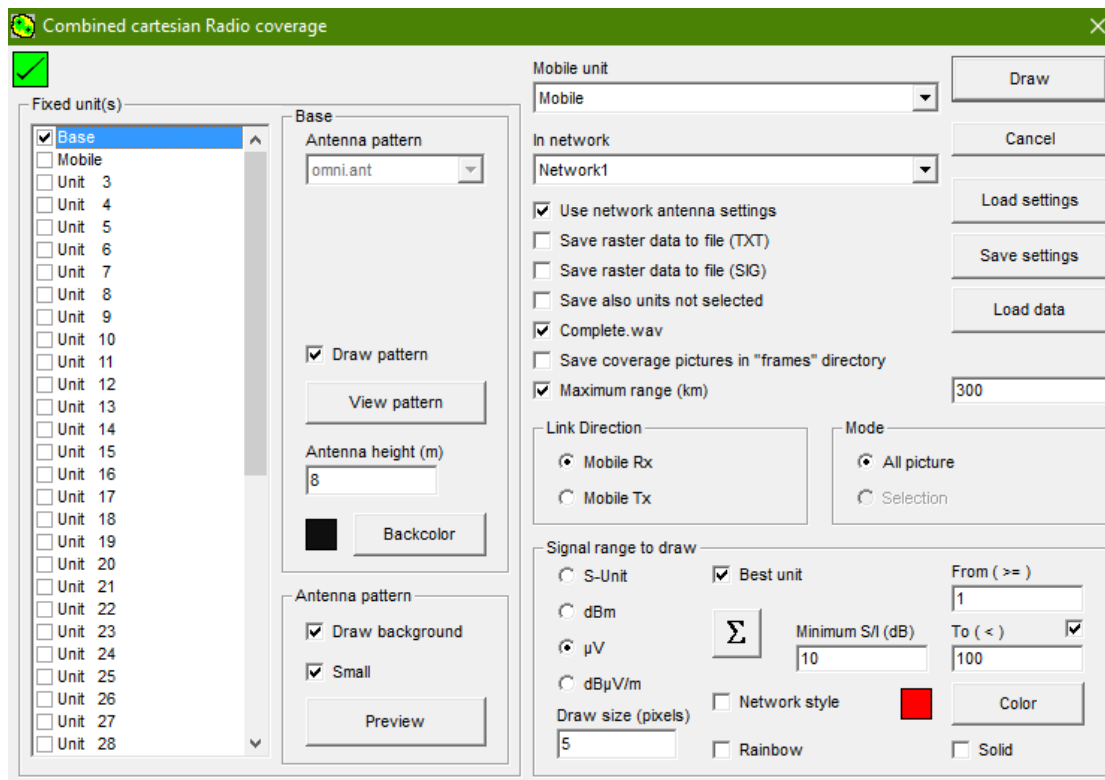


Εικόνα 8. 136: Combined cartesian - example 2

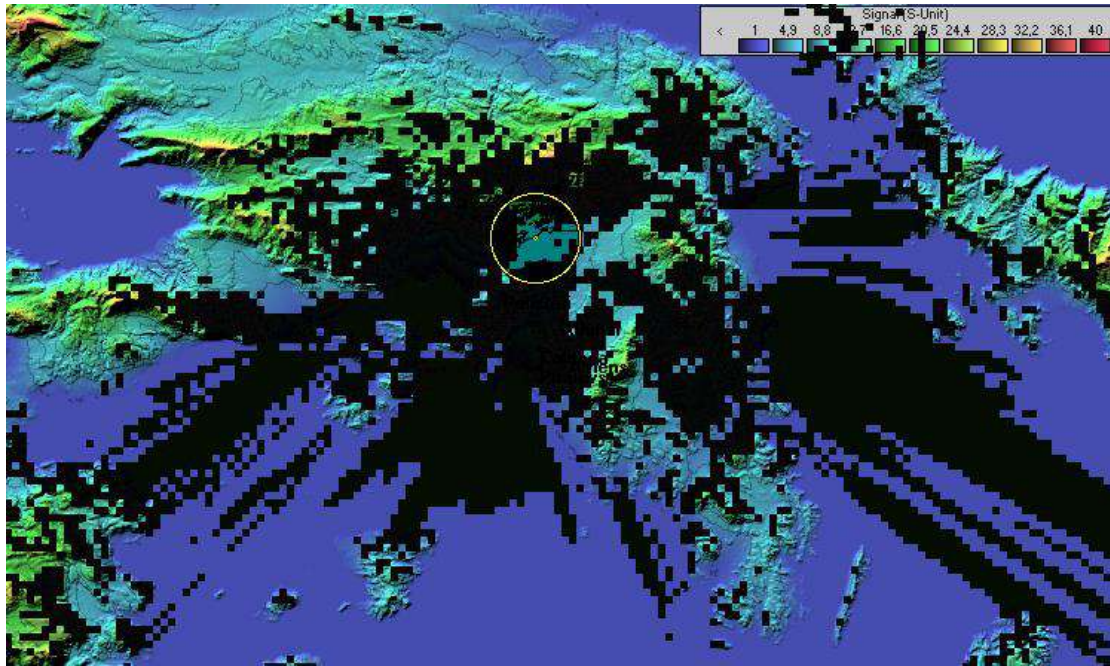


Εικόνα 8. 137: Combined Cartesian - example 2 (Athens)

Με το best unit επιλεγμένο, προκύπτει το εξής:

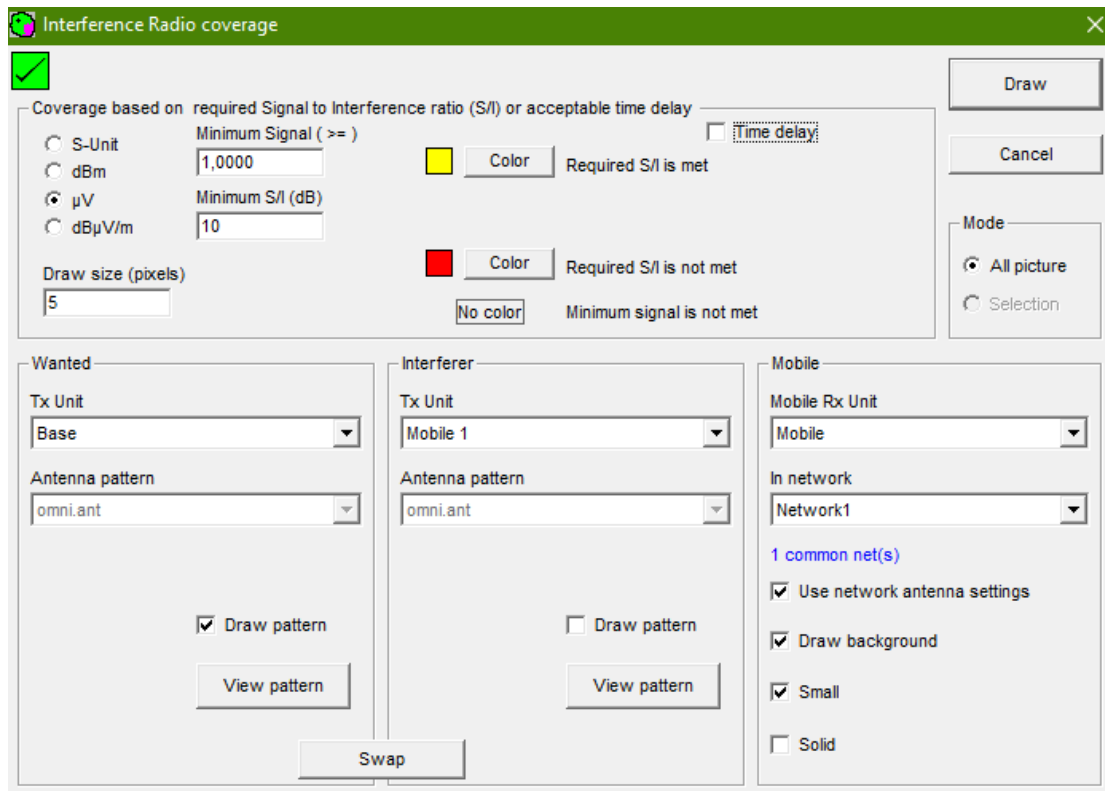


Εικόνα 8. 138: Combined cartesian - example 3

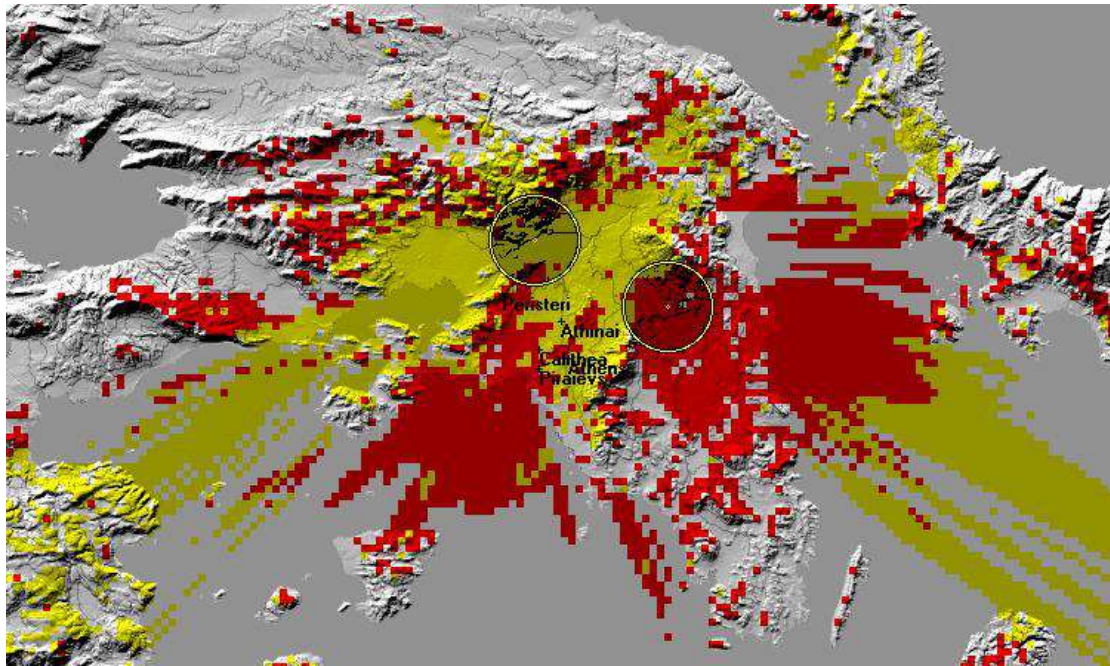


Εικόνα 8. 139: Combined Cartesian - example 3 (Athens)

Η επόμενη επιλογή στο Radio Coverage, είναι το Interference. Δημιουργήθηκε ένα νέο Unit, το Mobile 1, το οποίο αποτελεί το Interferer.

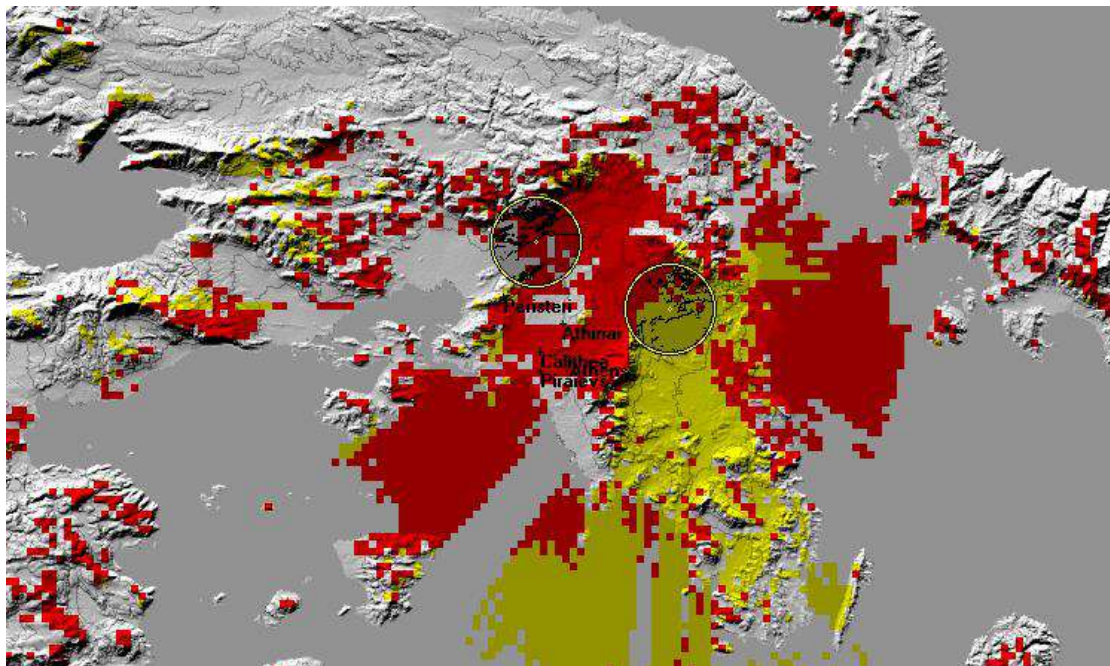


Εικόνα 8. 140: Interference - example 1



Εικόνα 8. 141: Interference - example 1 (Athens)

Οι κόκκινες περιοχές δείχνουν ότι σε αυτές τις τοποθεσίες, η κινητή μονάδα ξεπέρασε το περιθώριο. Ενώ οι κίτρινες περιοχές, δείχνουν ότι το περιθώριο ήταν αποδεκτό σε αυτές τις τοποθεσίες. Εάν γίνει εναλλαγή με το Swap, της μονάδας Base και του Interferer, τότε προκύπτει το εξής:



Εικόνα 8. 142: Interference - swap (Athens)

Στη συνέχεια, στο Radio coverage βρίσκεται η επιλογή Fresnel zone coverage. Παρακάτω δίνονται τα επιθυμητά περιθώρια εκκαθάρισης της ζώνης Fresnel. Στη συνέχεια προκύπτει μία γραφική παράσταση στον χάρτη, στην οποία χρωματίζονται οι περιοχές όπου επιτυγχάνονται τα όρια που ορίστηκαν.

Fresnel Zone Coverage

Centre unit: Base

Mobile unit: Mobile

Network: Network1

First Fresnel zone clearance

Minimum: 0,55 Maximum: 1,05

Solid

Radial range (km)

Minimum: 1 Maximum: 100

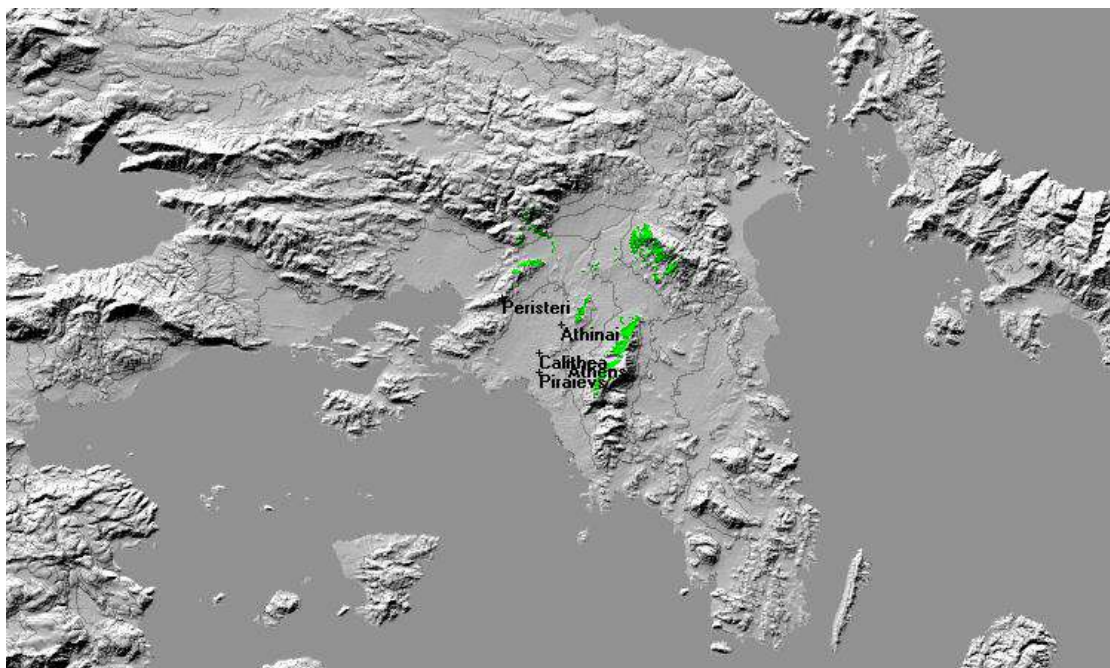
Azimuth range (°)

Minimum: 0 Maximum: 360

Color selection: Color

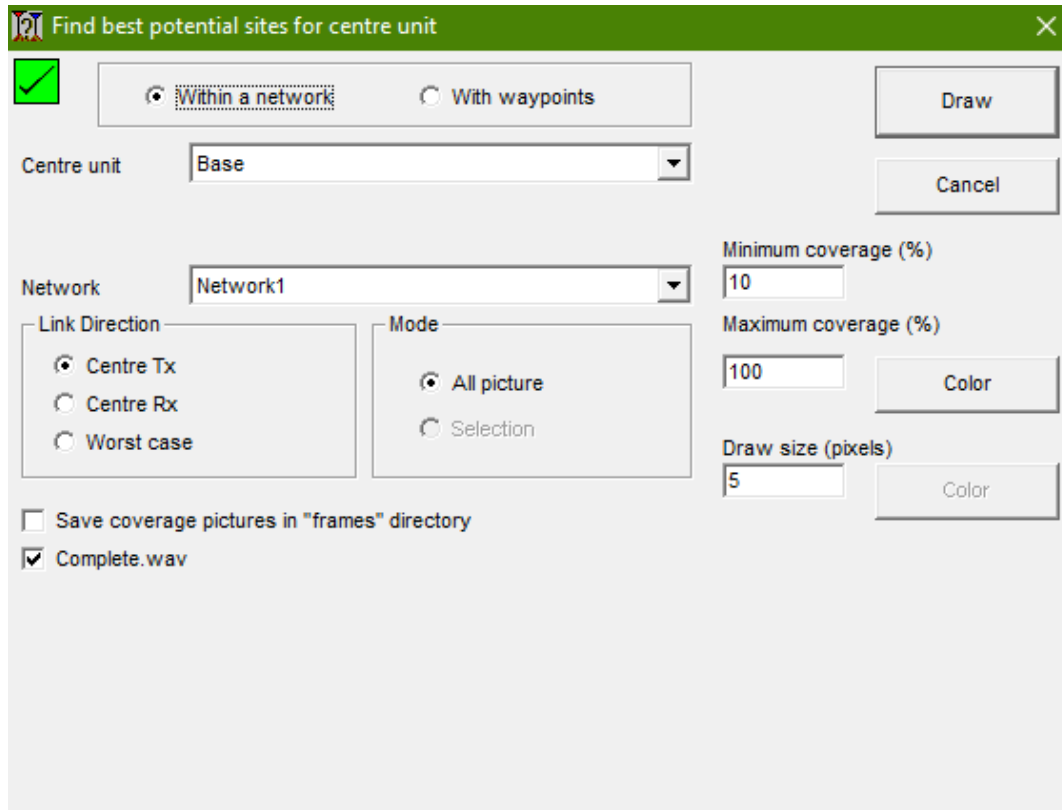
Buttons: Draw, Cancel

Εικόνα 8. 143: Fresnel - example 1

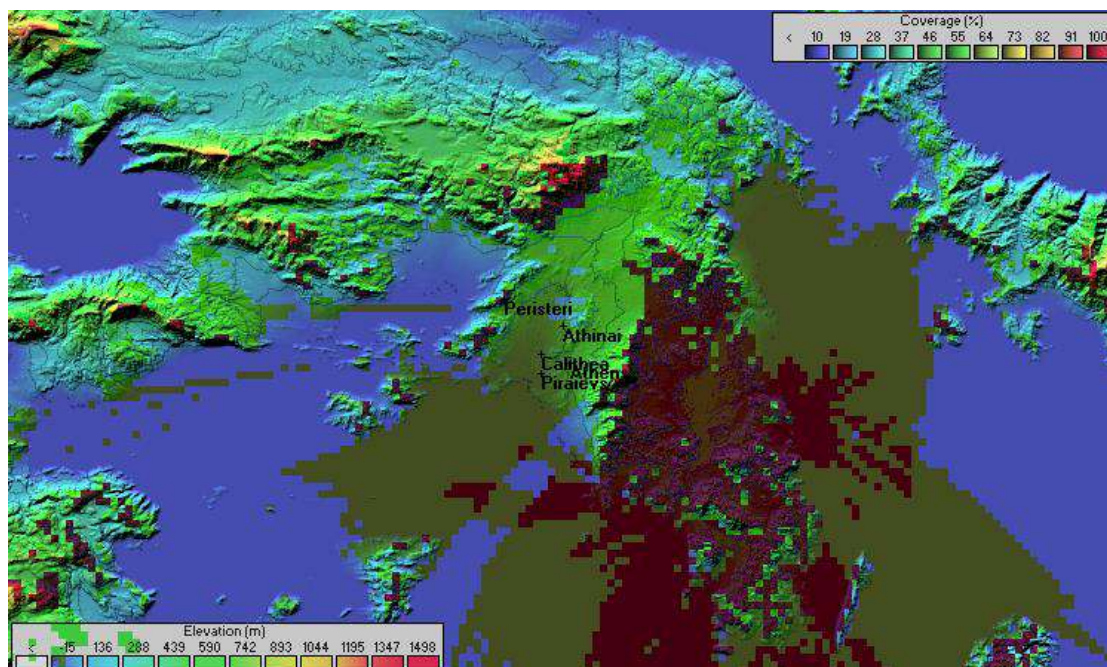


Εικόνα 8. 144: Fresnel - example 1 (Athens)

Το Find best sites είναι η επόμενη επιλογή στο Radio coverage, η οποία προσδιορίζει την καλύτερη θέση για έναν ραδιοφωνικό σταθμό.

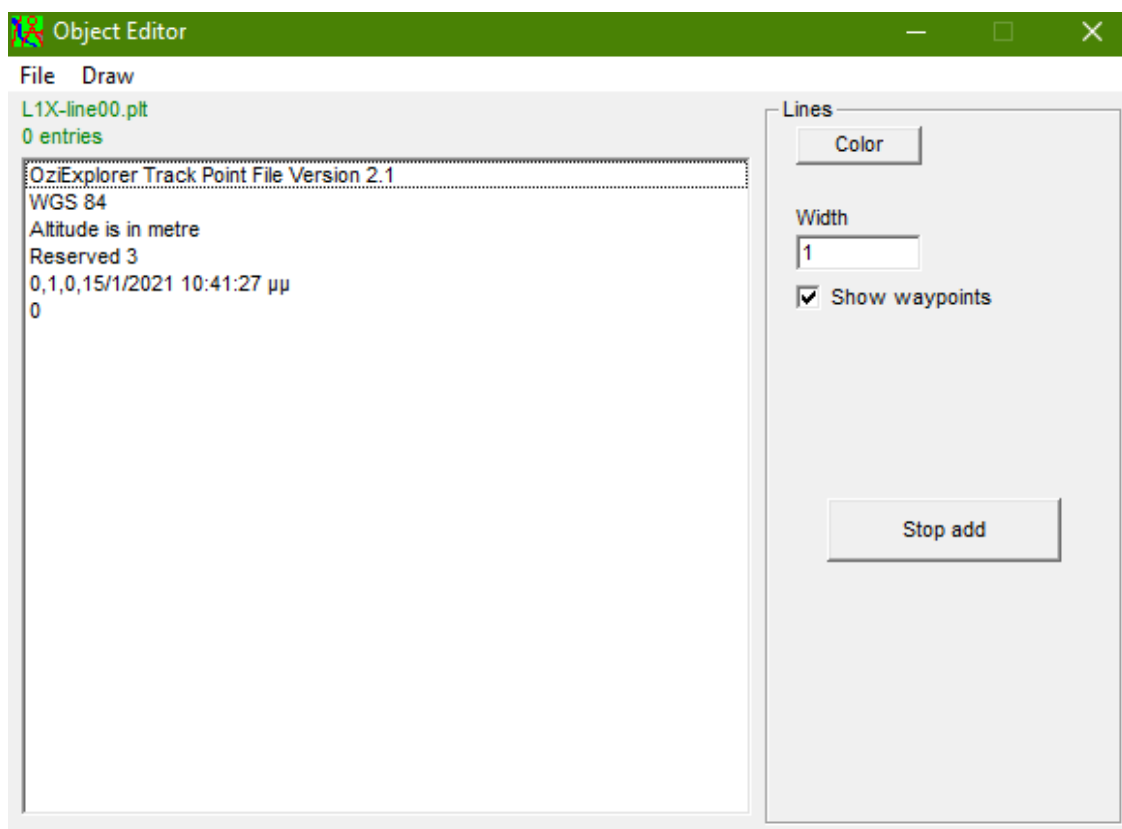


Εικόνα 8. 145: Find best sites - example



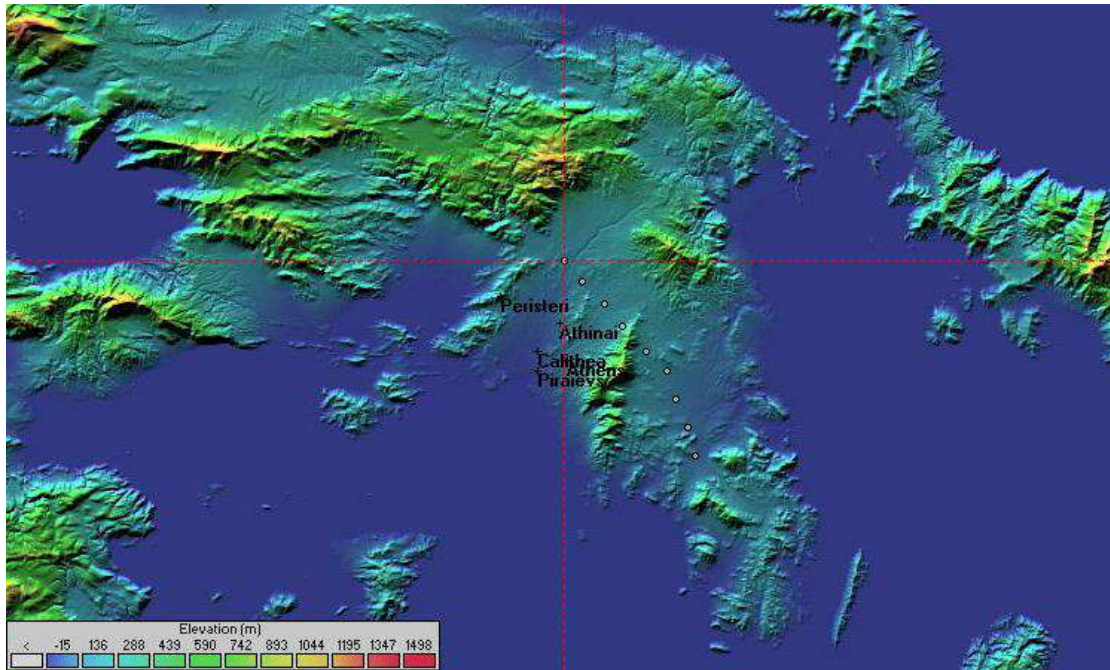
Εικόνα 8. 146: Find best sites - example (Athens)

Η τελευταία επιλογή του Radio coverage είναι το route, το οποίο αναλύει την κάλυψη σύμφωνα με μία διαδρομή, που δίνεται από το Object editor. Οπότε, αρχικά επιλέγεται το Object editor από το Tools και στο παράθυρο που ανοίγει, επιλέγεται το File – New – Lines.



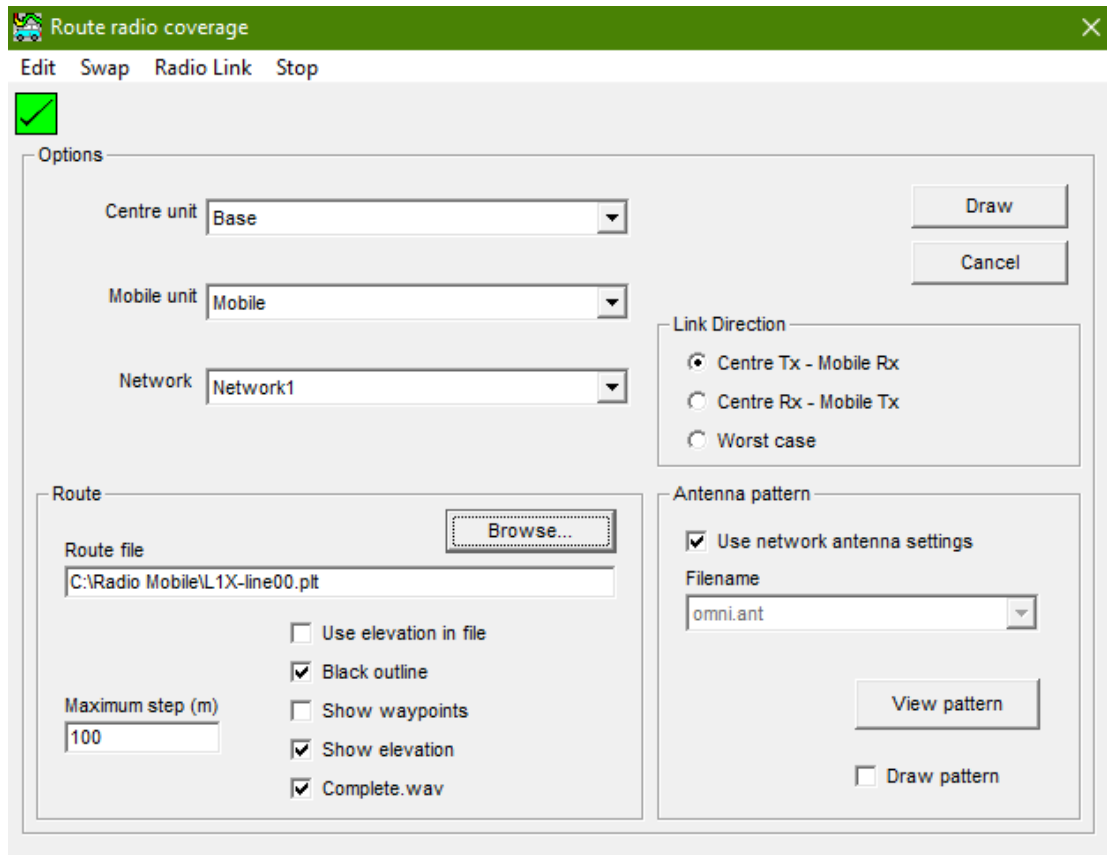
Εικόνα 8. 147: Object editor - example

Φαίνεται ότι δεν έχουν γίνει ακόμα εγγραφές. Κάθε κλικ στον χάρτη, προστίθεται σαν εγγραφή στο object editor και στο τέλος, όλες οι εγγραφές δημιουργούν μία διαδρομή. Τα σημεία αυτά απεικονίζονται στον χάρτη ως κουκίδες.



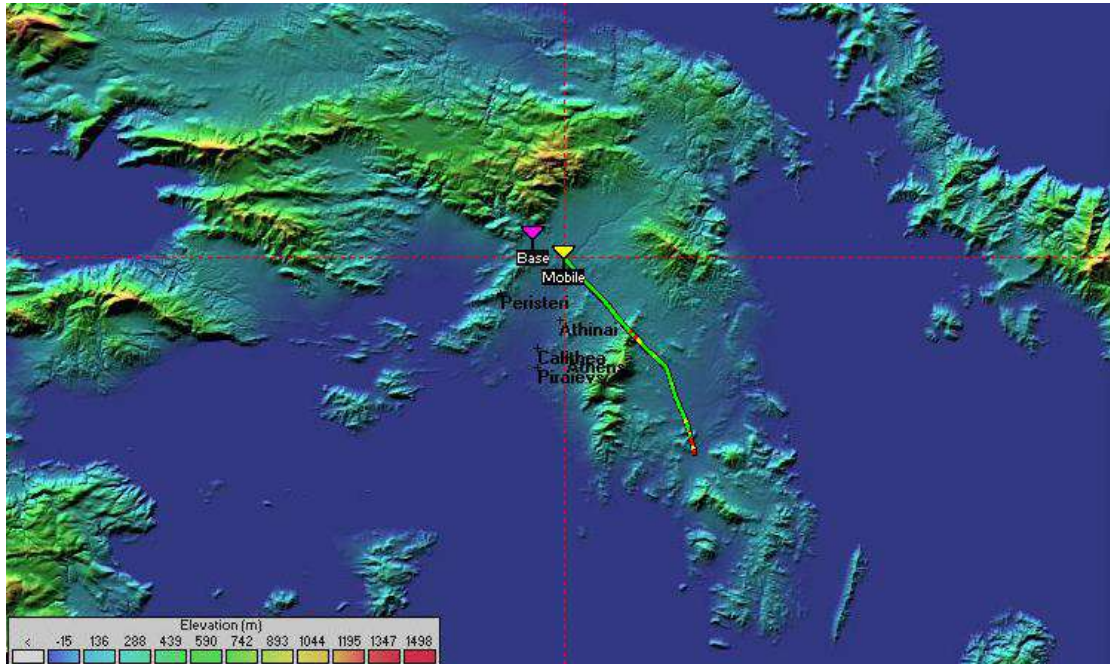
Εικόνα 8. 148: Object editor - example (Athens)

Στη συνέχεια, στο Route από το Radio coverage προστίθενται τα παρακάτω στοιχεία.

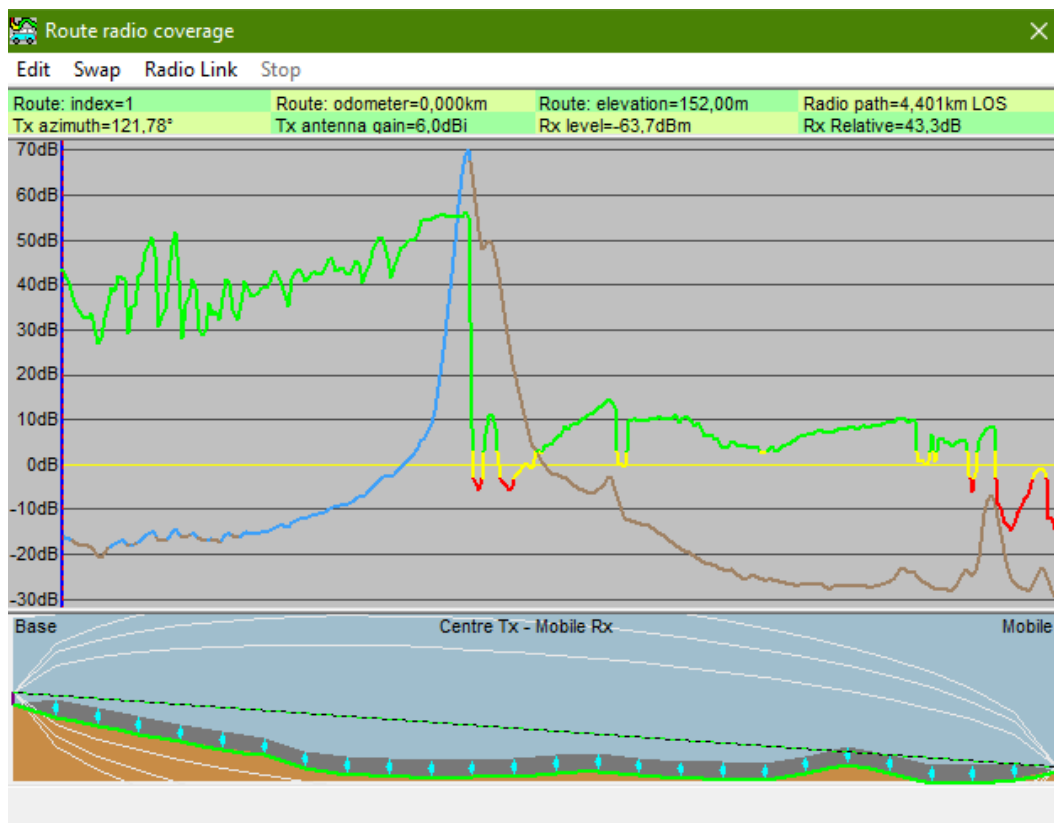


Εικόνα 8. 149: Radio coverage - route – example

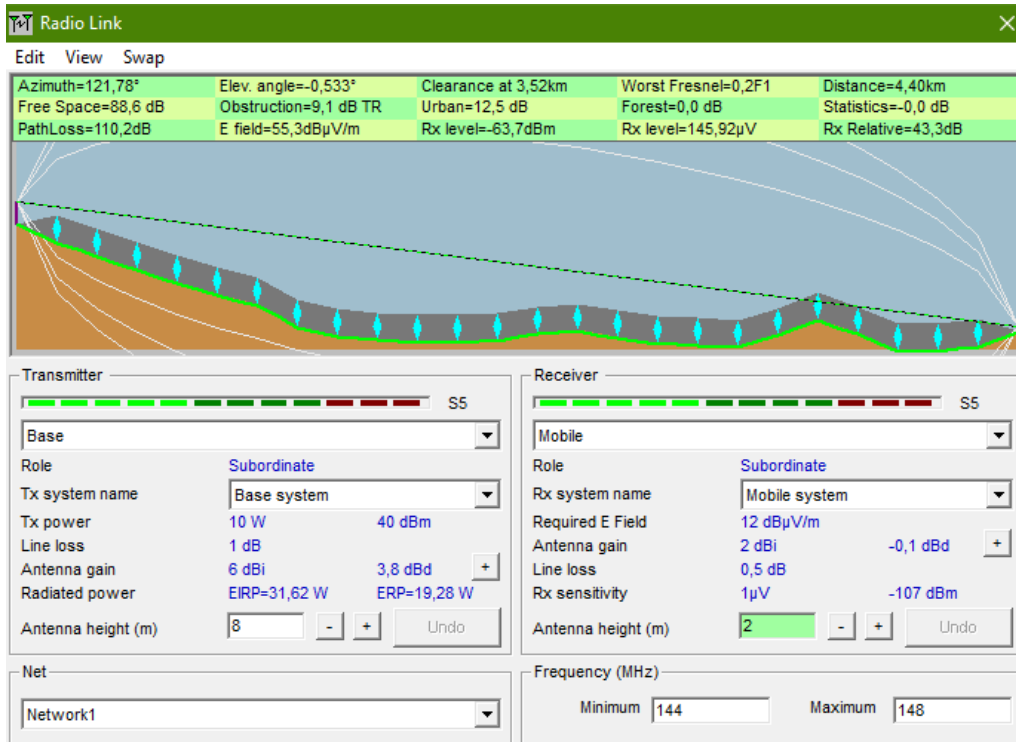
Ως route file προστέθηκε ο φάκελος, στον οποίο αποθηκεύτηκαν οι εγγραφές στο Object editor.



Εικόνα 8. 150: Route - example (Athens)

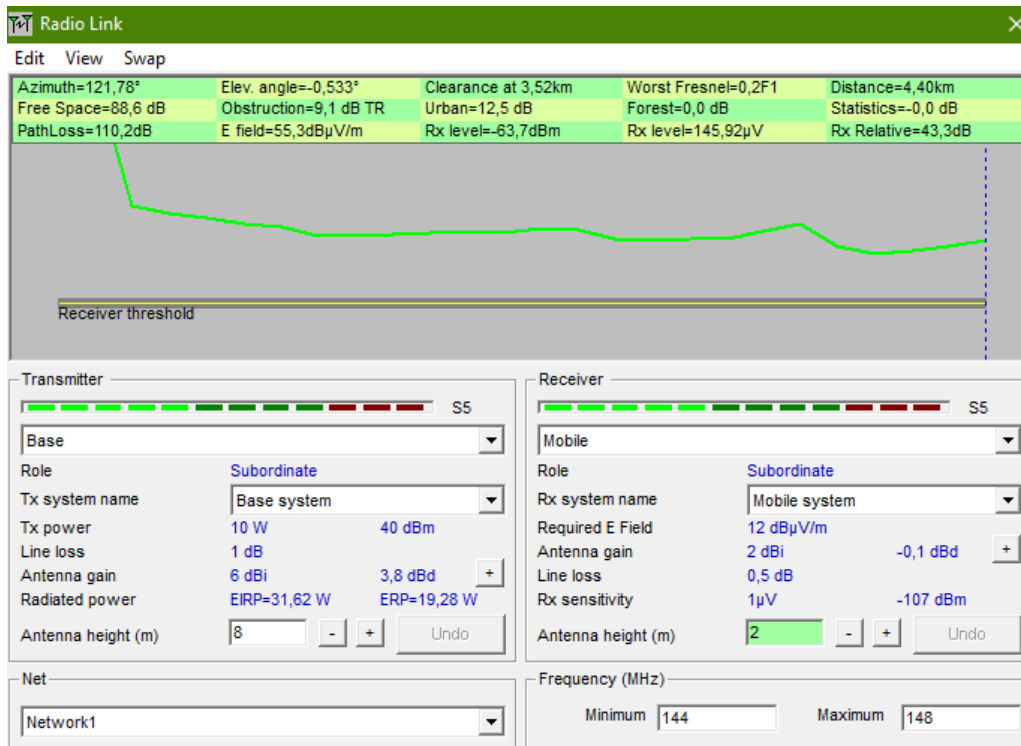


Εικόνα 8. 151: Route radio coverage

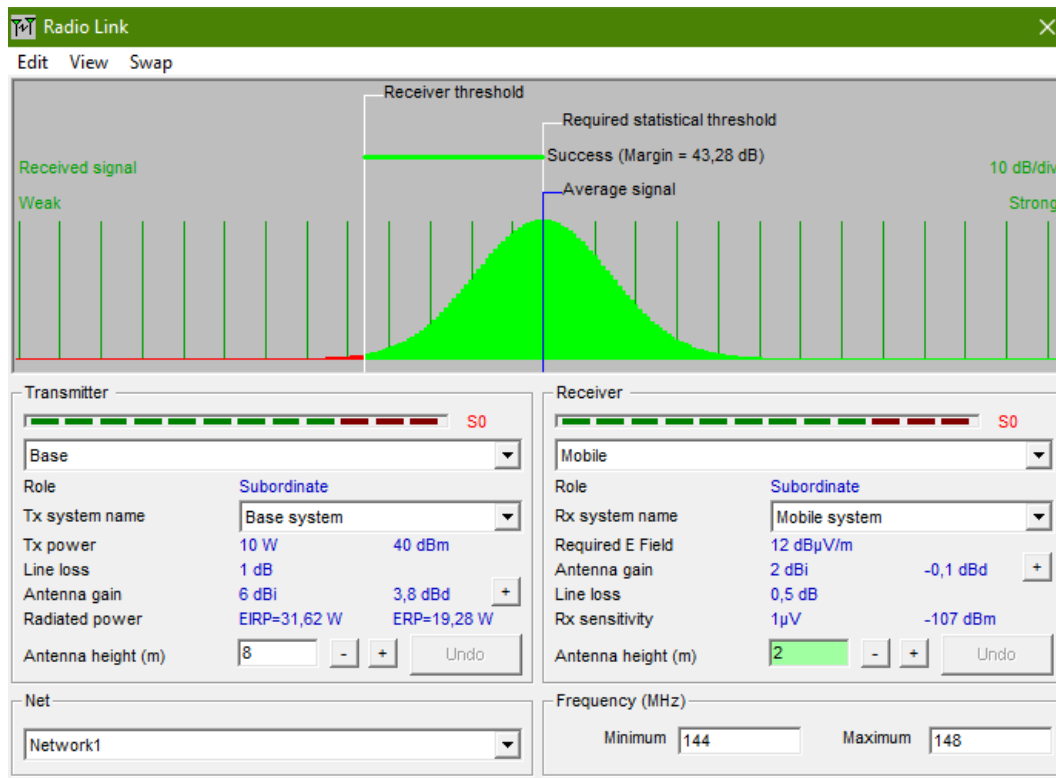


Εικόνα 8. 152: Radio link of route

Στην εικόνα 8.152 γίνονται ανάλυση της κάλυψης με βάση τη διαδρομή που σχεδιάστηκε.

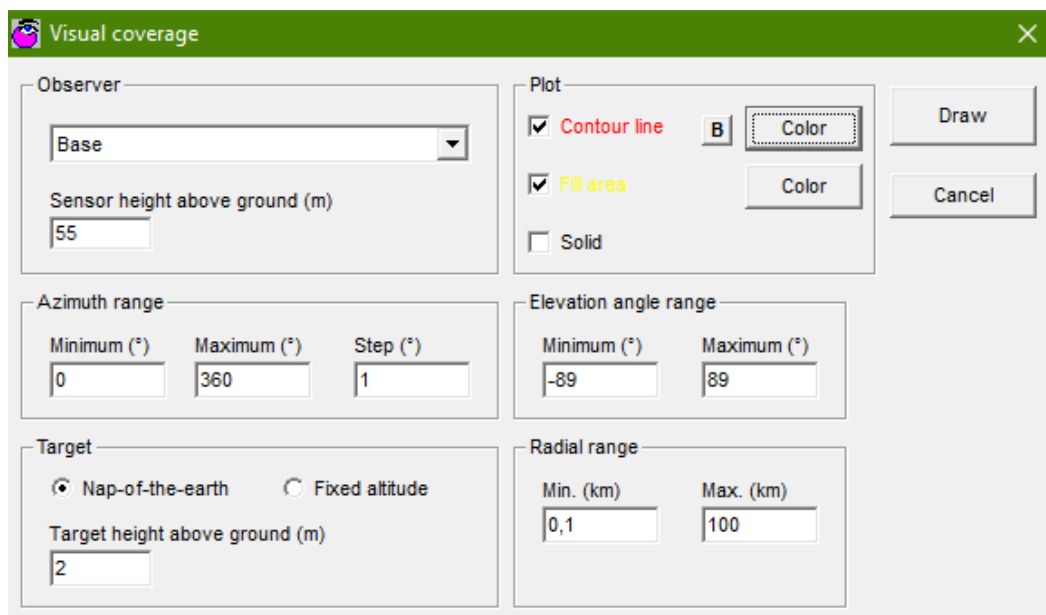


Εικόνα 8. 153: Range of route

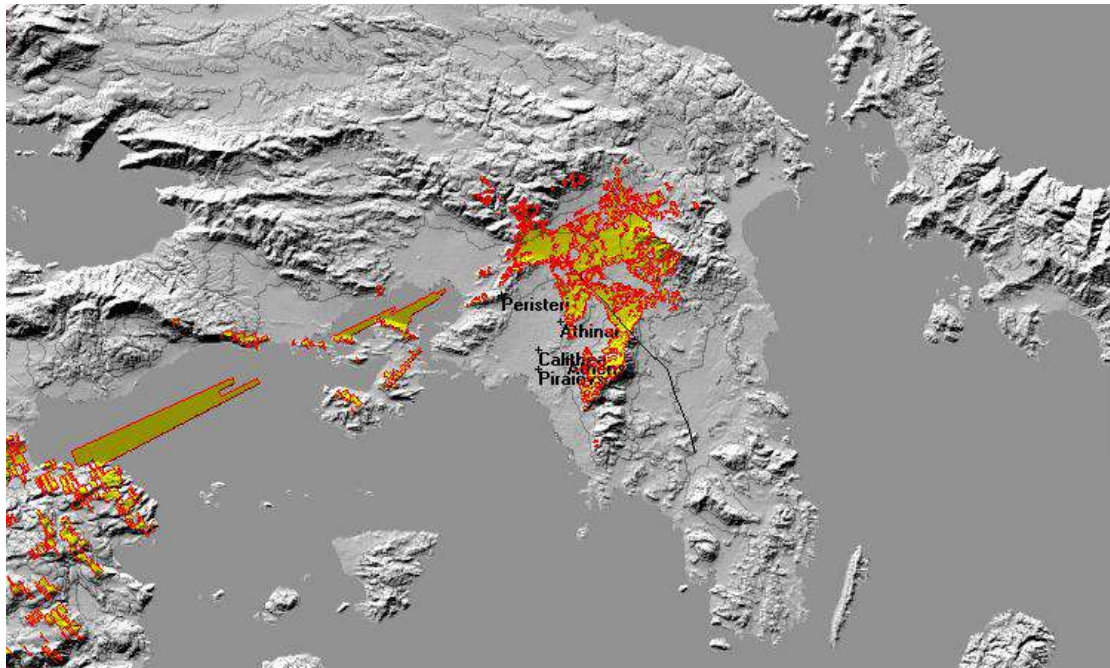


Εικόνα 8. 154: Distribution of route

Αφού ολοκληρώθηκαν οι επιλογές από το Radio coverage, στη συνέχεια στο Tools βρίσκεται το Visual coverage.



Εικόνα 8. 155: Visual coverage – example 1

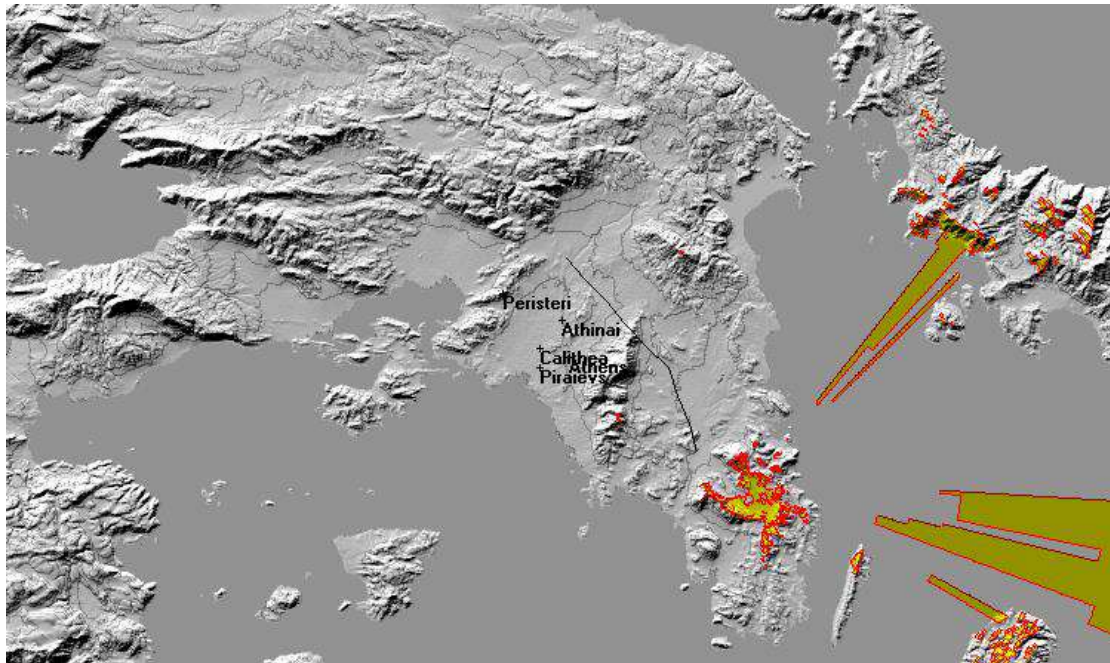


Εικόνα 8. 156: Visual coverage – example 1 (Athens)

Visual coverage
✕

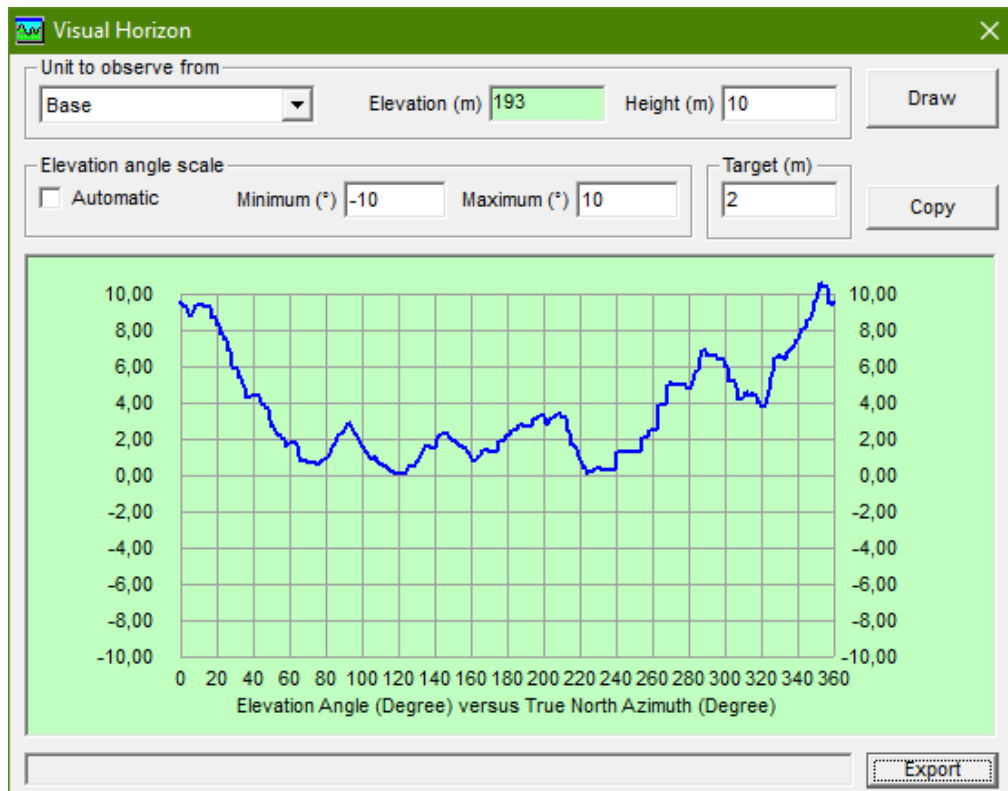
<p>Observer</p> <p>Mobile ▼</p> <p>Sensor height above ground (m)</p> <p>55</p>	<p>Plot</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Contour line B Color</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Fill area Color</p> <p><input type="checkbox"/> Solid</p> <p style="text-align: right;">Draw</p> <p style="text-align: right;">Cancel</p>										
<p>Azimuth range</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Minimum (°)</td> <td style="width: 33%;">Maximum (°)</td> <td style="width: 33%;">Step (°)</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>360</td> <td>1</td> </tr> </table>	Minimum (°)	Maximum (°)	Step (°)	0	360	1	<p>Elevation angle range</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Minimum (°)</td> <td style="width: 50%;">Maximum (°)</td> </tr> <tr> <td>-89</td> <td>89</td> </tr> </table>	Minimum (°)	Maximum (°)	-89	89
Minimum (°)	Maximum (°)	Step (°)									
0	360	1									
Minimum (°)	Maximum (°)										
-89	89										
<p>Target</p> <p><input checked="" type="radio"/> Nap-of-the-earth <input type="radio"/> Fixed altitude</p> <p>Target height above ground (m)</p> <p>2</p>	<p>Radial range</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Min. (km)</td> <td style="width: 50%;">Max. (km)</td> </tr> <tr> <td>0,1</td> <td>100</td> </tr> </table>	Min. (km)	Max. (km)	0,1	100						
Min. (km)	Max. (km)										
0,1	100										

Εικόνα 8. 157: Visual coverage - example 2



Εικόνα 8. 158: Visual coverage - example 2 (Athens)

Στη συνέχεια, στο Tools βρίσκεται το Visual horizon, με το οποίο σχεδιάζεται ο οπτικός ορίζοντας.

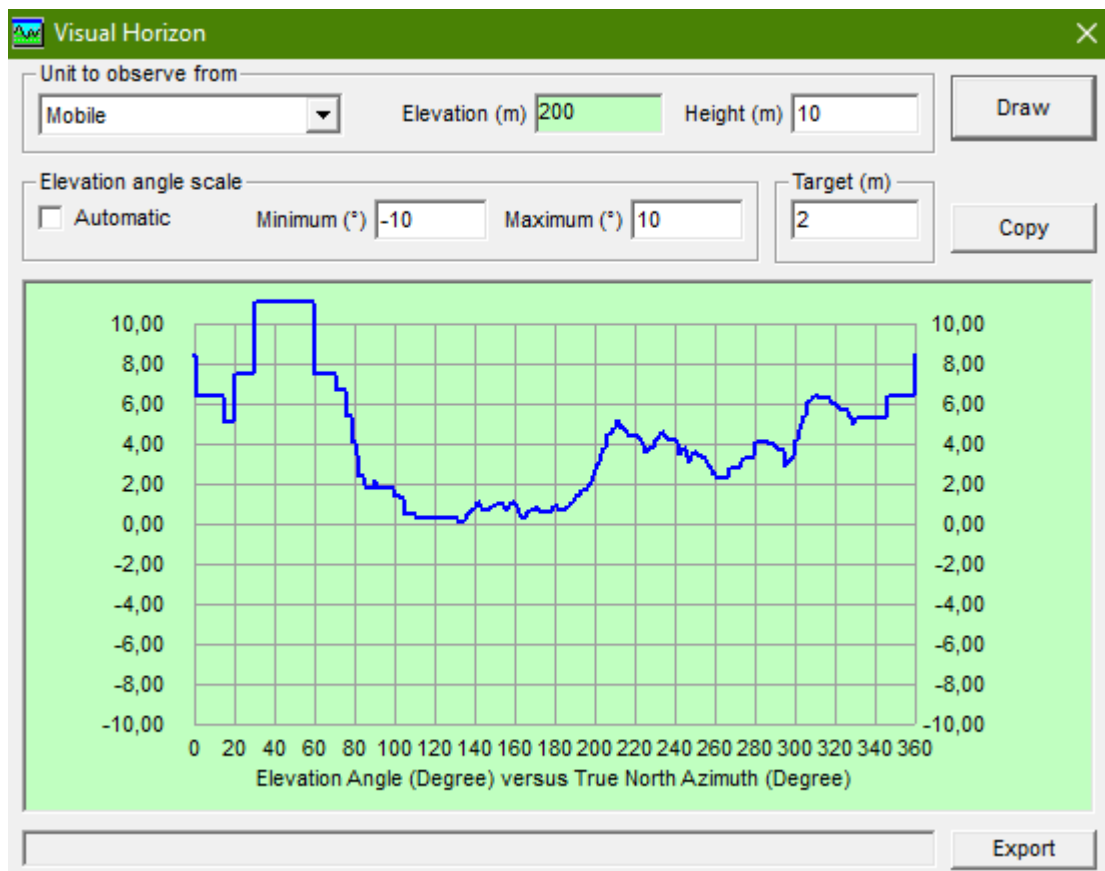


Εικόνα 8. 159: Visual horizon - example 1

Με το export εξάγεται ο οπτικός ορίζοντας σε ένα κείμενο μορφής text.

Observe from (m)	Latitude(°)	Longitude(°)	Elevation(m)	Sensor height (m)
Base	38°05'20"N	023°41'38"E	0193,0	0010,0
Target height(m)			0002,0	
Azimuth (°)	Elevation angle (°)	Distance (km)	Latitude	Longitude
000	+09,614	003,831	38°07'27"N	023°41'38"E
001	+09,398	003,920	38°07'27"N	023°41'38"E
002	+09,284	003,920	38°07'27"N	023°41'45"E
003	+09,284	003,920	38°07'27"N	023°41'45"E
004	+09,004	003,742	38°07'21"N	023°41'45"E
005	+08,836	004,454	38°07'44"N	023°41'52"E
006	+08,860	004,276	38°07'39"N	023°42'00"E
007	+09,072	002,227	38°06'29"N	023°41'52"E
008	+09,444	002,138	38°06'29"N	023°41'52"E
009	+09,444	002,138	38°06'29"N	023°41'52"E
010	+09,444	002,138	38°06'29"N	023°41'52"E
011	+09,444	002,138	38°06'29"N	023°41'52"E
012	+09,444	002,138	38°06'29"N	023°41'52"E
013	+09,307	002,316	38°06'35"N	023°42'00"E
014	+09,307	002,316	38°06'35"N	023°42'00"E
015	+09,307	002,316	38°06'35"N	023°42'00"E
016	+09,287	002,138	38°06'29"N	023°42'00"E

Εικόνα 8. 160: Export visual horizon – example 1



Εικόνα 8. 161: Visual horizon - example 2

Observe from (m)	Latitude(°)	Longitude(°)	Elevation(m)	Sensor height (m)
Mobile	37°49'45"N	023°59'41"E	0200,0	0010,0
Target height(m)			0002,0	
Azimuth (°)	Elevation angle (°)	Distance (km)	Latitude	Longitude
Elevation(m)				
000	+08,511	000,267	37°49'57"N	023°59'41"E
001	+06,403	000,356	37°49'57"N	023°59'41"E
002	+06,403	000,356	37°49'57"N	023°59'41"E
003	+06,403	000,356	37°49'57"N	023°59'41"E
004	+06,403	000,356	37°49'57"N	023°59'41"E
005	+06,403	000,356	37°49'57"N	023°59'41"E
006	+06,403	000,356	37°49'57"N	023°59'41"E
007	+06,403	000,356	37°49'57"N	023°59'41"E
008	+06,403	000,356	37°49'57"N	023°59'41"E
009	+06,403	000,356	37°49'57"N	023°59'41"E
010	+06,403	000,356	37°49'57"N	023°59'41"E
011	+06,403	000,356	37°49'57"N	023°59'41"E
012	+06,403	000,356	37°49'57"N	023°59'41"E
013	+06,403	000,356	37°49'57"N	023°59'41"E
014	+06,403	000,356	37°49'57"N	023°59'41"E
015	+05,130	000,356	37°49'57"N	023°59'49"E
016	+05,130	000,356	37°49'57"N	023°59'49"E

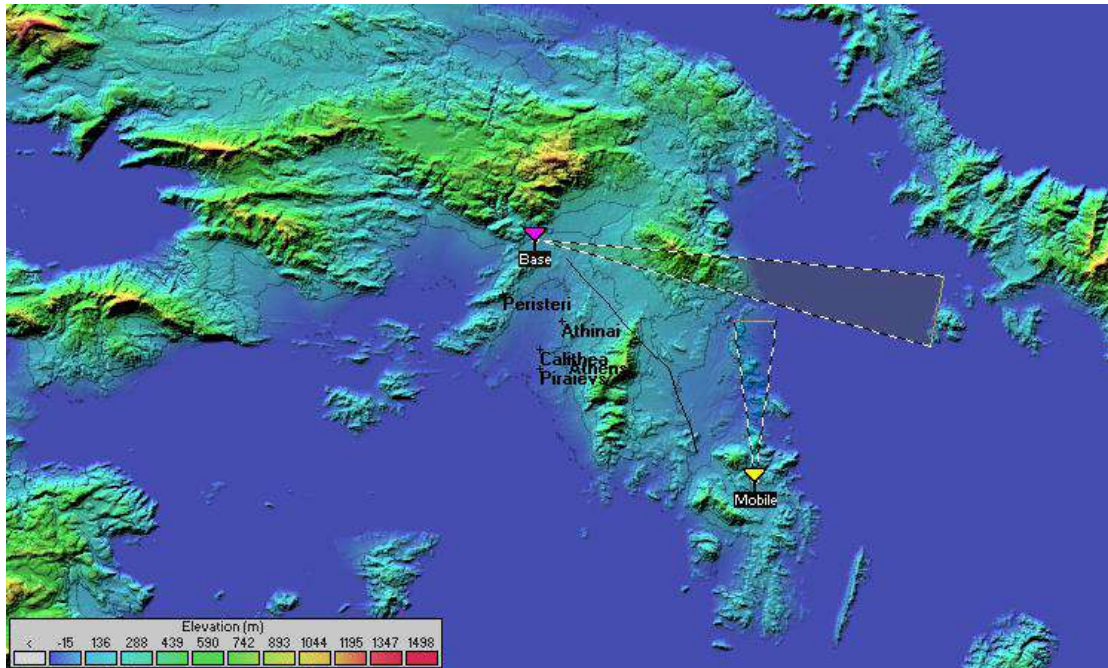
Εικόνα 8. 162: Export visual horizon - example 2

Παρακάτω δίνονται οι τιμές για το Fox hunt, που βρίσκεται στο Tools.

From:	Bearing (°)	Width (°)	Max. distance (km)	Enabled
Base	100	10	50	<input checked="" type="checkbox"/>
Mobile	360	15	20	<input checked="" type="checkbox"/>
None	0	5	100	<input type="checkbox"/>
None	0	5	100	<input type="checkbox"/>
None	0	5	100	<input type="checkbox"/>
None	0	5	100	<input type="checkbox"/>

Εικόνα 8. 163: Fox hunt – example

Με βάση αυτές τις τιμές, δημιουργείται αυτός ο χάρτης.

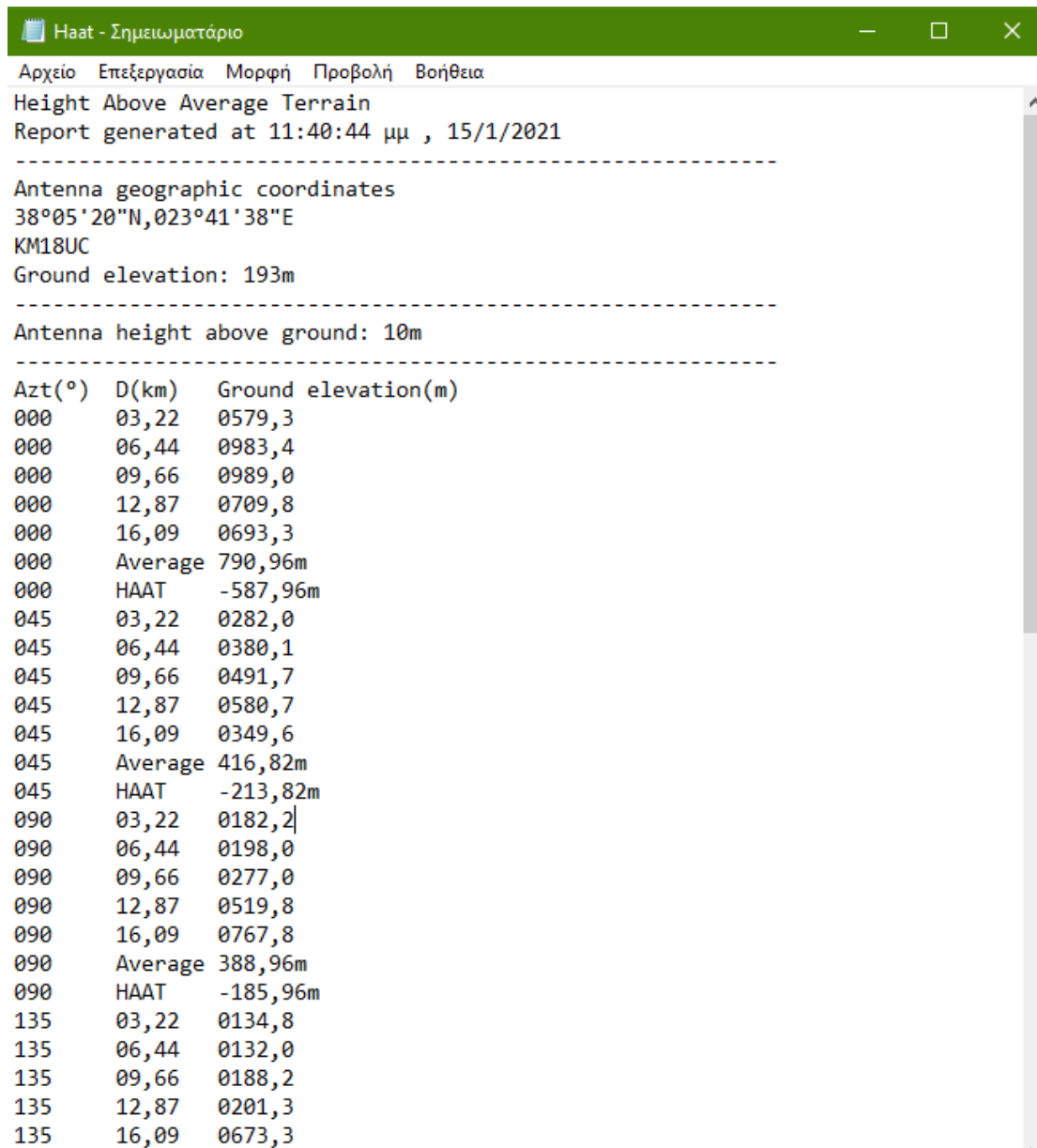


Εικόνα 8. 164: Fox hunt - example (Athens)

Για το HAAT δίνονται οι παρακάτω τιμές για το Base και το Mobile αντίστοιχα.

Εικόνα 8. 165: HAAT - example 1

Με τον τρόπο αυτό, υπολογίζεται το ύψος πάνω από το μέσο έδαφος, μίας επιλεγμένης μονάδας. Αφού οριστούν οι τιμές, με το compute εξάγεται ένα κείμενο της μορφής text, με τα αποτελέσματα.



Εικόνα 8. 166: HAAT – αποτελέσματα

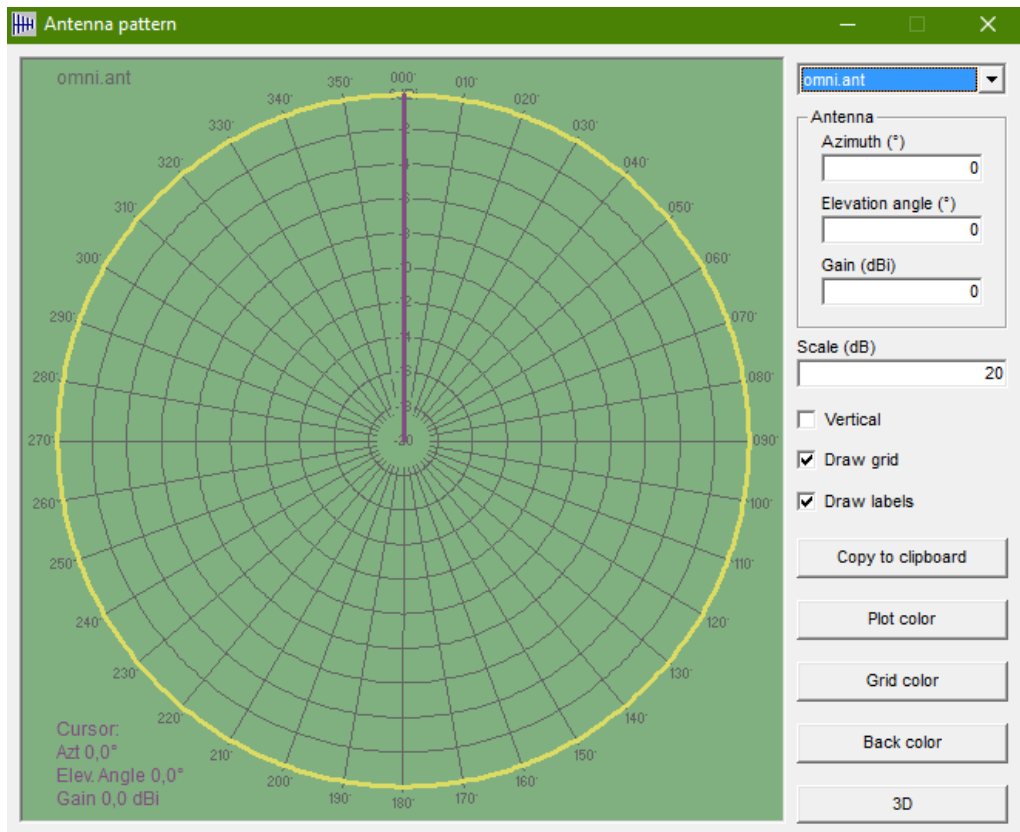
Αρχείο	Επεξεργασία	Μορφή	Προβολή	Βοήθεια
135	16,09	0673,3		
135	Average	265,92m		
135	HAAT	-62,92m		
180	03,22	0263,2		
180	06,44	0091,3		
180	09,66	0043,0		
180	12,87	0025,0		
180	16,09	0006,9		
180	Average	85,88m		
180	HAAT	117,12m		
225	03,22	0185,2		
225	06,44	0106,5		
225	09,66	0098,3		
225	12,87	0000,0		
225	16,09	0021,6		
225	Average	82,32m		
225	HAAT	120,68m		
270	03,22	0239,4		
270	06,44	0130,8		
270	09,66	0061,3		
270	12,87	0064,0		
270	16,09	0096,2		
270	Average	118,34m		
270	HAAT	84,66m		
315	03,22	0328,3		
315	06,44	0402,1		
315	09,66	0729,0		
315	12,87	0701,2		
315	16,09	0546,8		
315	Average	541,48m		
315	HAAT	-338,48m		

Antenna elevation above sea level				: 203m
Average ground elevation above sea level:				336,33m

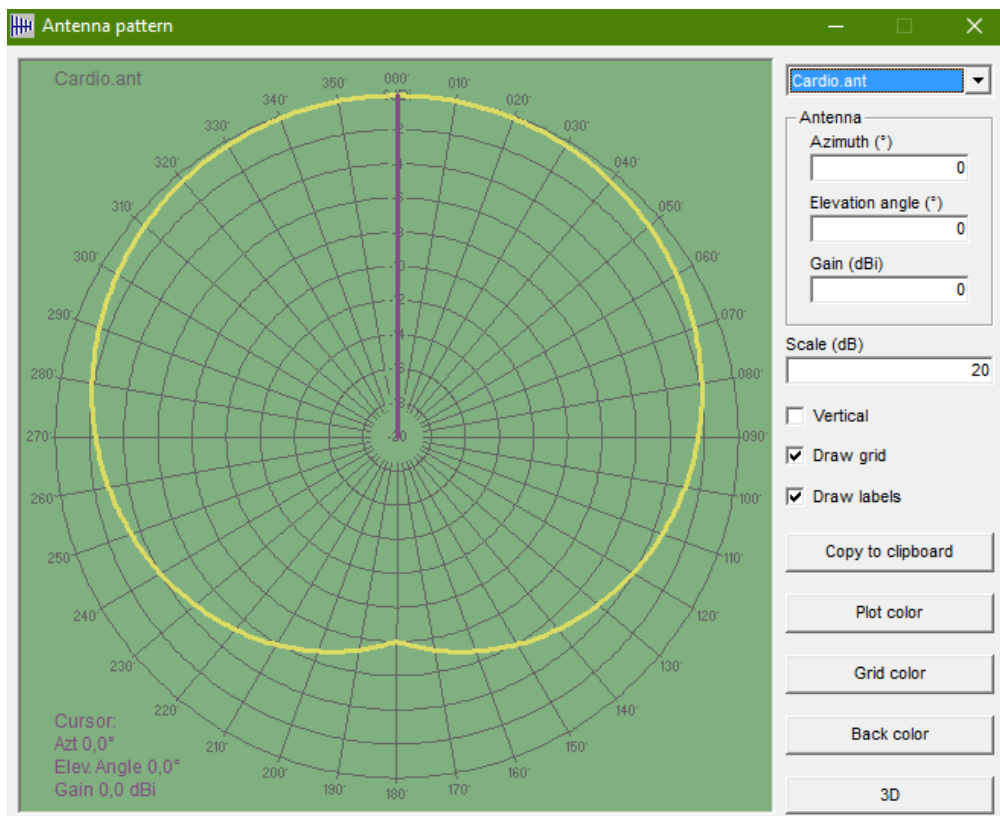
HAAT:				-133,33m

Εικόνα 8. 167: HAAT - αποτελέσματα (συνέχεια)

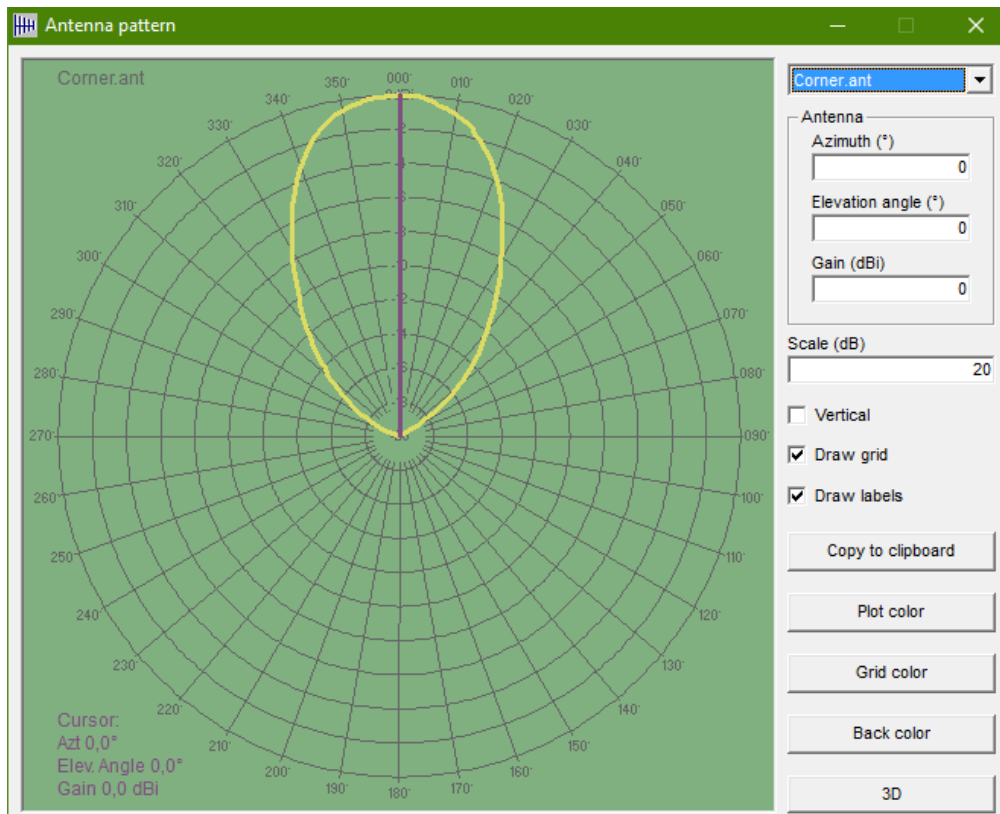
Στο Antenna pattern viewer στο Tools, απεικονίζονται τα διάφορα μοτίβα κεραίας, τα οποία είναι omni.ant, Cardio.ant, Corner.ant, dipole.ant, Ellipse.ant, yagi.ant.



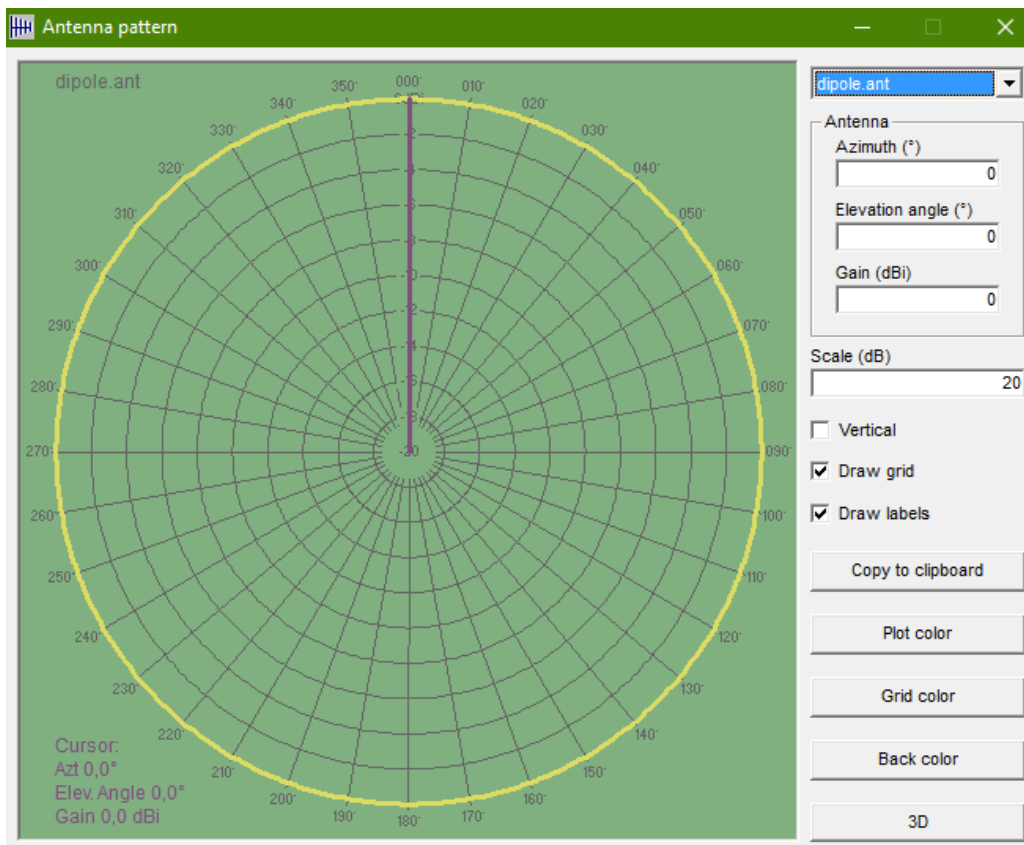
Εικόνα 8. 168: omni.ant



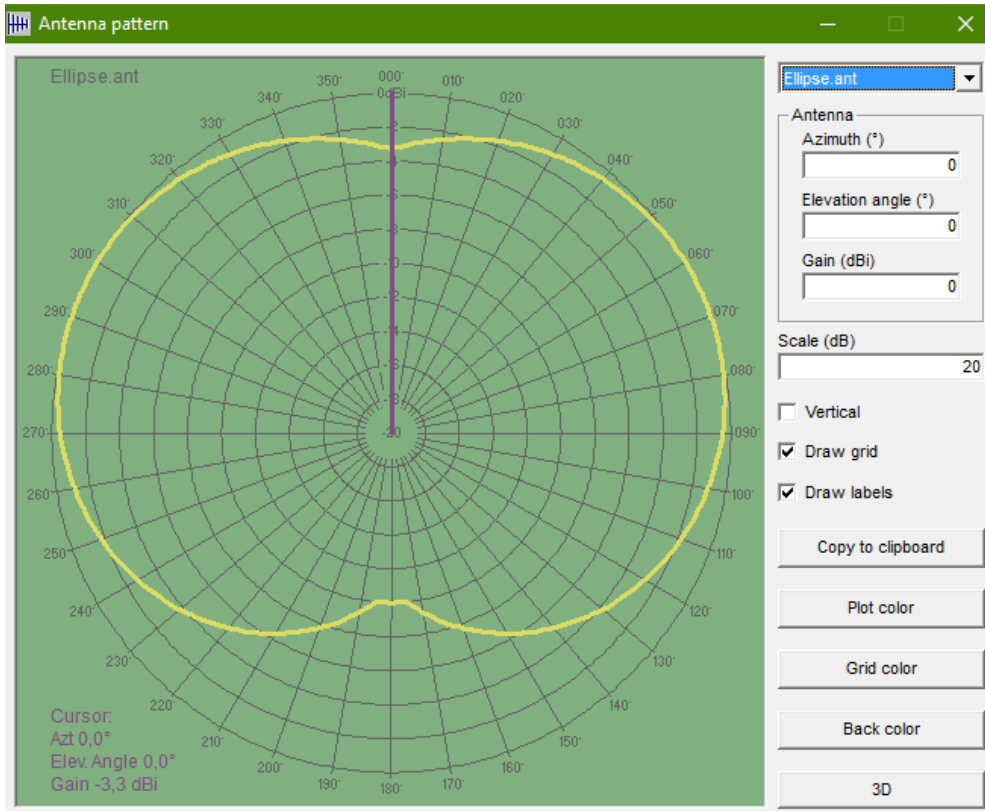
Εικόνα 8. 169: Cardio.ant



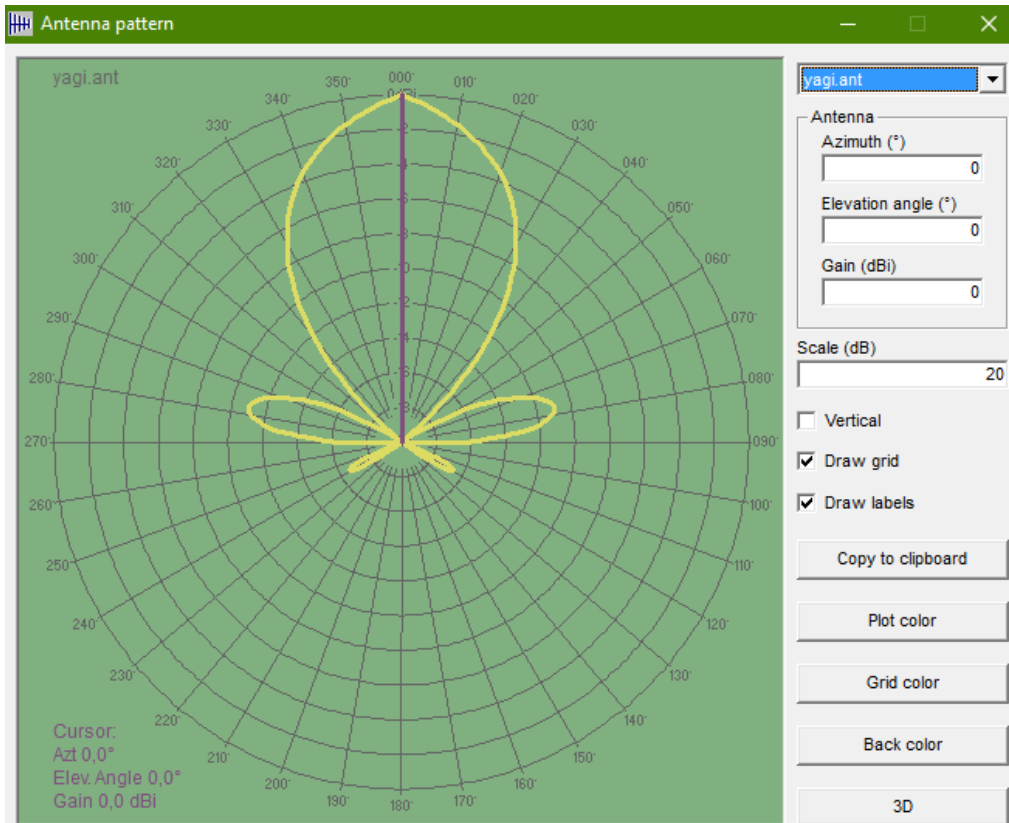
Εικόνα 8. 170: Corner.ant



Εικόνα 8. 171: dipole.ant



Εικόνα 8. 172: Ellipse.ant



Εικόνα 8. 173: yagi.ant

Συμπεράσμα

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία μελετήθηκε η διάδοση των ραδιοκυμάτων και περιγράφηκαν διάφορα μοντέλα ραδιοδιάδοσης. Οι κεραιές του πομπού και του δέκτη όπως διαπιστώθηκε, είναι πιθανό να βρίσκονται σε περιβάλλον με εμπόδια διαφόρων ειδών, όπως δέντρα, βουνά ή οικισμοί. Τα εμπόδια αυτά προκαλούν στα κύματα φαινόμενα, όπως ανάκλαση, διάθλαση, περίθλαση και σκέδαση, που αλλάζουν την κατεύθυνση των ραδιοκυμάτων και προκαλούν επίσης, απώλειες ή παραμορφώσεις στα σήματα. Η μελέτη της ραδιοδιάδοσης στην πτυχιακή αυτή, πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του προγράμματος Radio Mobile. Είναι ένα εύχρηστο πρόγραμμα προσομοίωσης ραδιοφωνικού δικτύου, στο οποίο επιλέγονται οι τοποθεσίες των κεραιών του πομπού και του δέκτη, με τη χρήση συντεταγμένων. Έτσι, δημιουργείται ένα δίκτυο, στο οποίο μπορεί να υπολογιστεί η κάλυψη, η κάλυψη ζώνης Fresnel, το ποσοστό των απωλειών και να βρεθεί η μέγιστη και η ελάχιστη ανύψωση εδάδους. Το πρόγραμμα αυτό δίνει επίσης τη δυνατότητα, να προβληθεί σε μορφή βίντεο η διαδρομή από την κεραία του πομπού έως την κεραία του δέκτη. Παρόμοια προγράμματα με το Radio Mobile, είναι το EDX SignalPro, το Opnet Modeler και η τεχνολογία Wimax.

Βιβλιογραφία

- [1] <https://www.history.com/topics/inventions/guglielmo-marconi>
- [2] <http://teachers.cm.ihu.gr/papatsoris/Mobile%20Communications.pdf>
- [3] https://www.eett.gr/opencms/opencms/EETT/Electronic_Communications/Antennas_EMR/health/BaseStationRdt/Network/
- [4] <https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/CEID1109/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%BB%CE%AD%CE%BE%CE%B5%CE%B9%CF%82%20%CE%9C%CE%B1%CE%B8%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%82/%CE%95%CE%BD%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1%209%20-%20%CE%95%CE%B9%CF%83%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%AE%20%CF%83%CF%84%CE%B1%20%CE%9A%CF%85%CF%88%CE%B5%CE%BB%CF%89%CF%84%CE%AC%20%CE%A3%CF%85%CF%83%CF%84%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1%20%CE%95%CF%80%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%B9%CE%BD%CF%89%CE%BD%CE%B9%CF%8E%CE%BD.pdf>
- [5] <http://teachers.cm.ihu.gr/papatsoris/Mobile%20Communications.pdf>
- [6] <http://cgi.di.uoa.gr/~klimn/mobile/Lec1.pdf>
- [7] <http://www.mobilecomms-technology.com/projects/gsm/>
- [8] <https://www.tutorialspoint.com/third-generation-3g-mobile-phones>
- [9] <https://www.etsi.org/technologies/mobile/3g>
- [10] https://www.itu.int/ITU-D/tech/FORMER_PAGE_IMT2000/DocumentsIMT2000/What_really_3G.pdf
- [11] <https://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/UMTS>
- [12] <http://mirror.unpad.ac.id/orari/library/library-ref-eng/ref-eng-3/physical/wimax/wikipedia/Article2.pdf>
- [13] <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780070527997/back-matter/appendix6>
- [14] <https://www.4g.co.uk/what-is-4g/>

- [15] https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5189800?casa_token=F2cF0LQeaiYAAAAA:v0n9SBUCxs9Awtx-nE49BxIURSH3lu3v9yD3NV2rJ9spMrnnTZCvY7IuT_ZLIVZ5kS9_YOw4T3Y
- [16] Δίκτυα Υπολογιστών, ANDREW S. TANENBAUM, DAVID J. WETHERALL, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ
- [17] <http://net-informations.com/q/diff/generations.html>
- [18] <https://www.electronics-notes.com/articles/antennas-propagation/propagation-overview/basics.php>
- [19] <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/radio-propagation>
- [20] <https://www.flight-mechanic.com/radio-communication-radio-transmitters-and-receivers/>
- [21] <https://www.dummies.com/programming/electronics/components/radio-electronics-transmitters-and-receivers/>
- [22] <https://www.animations.physics.unsw.edu.au/jw/dB.htm>
- [23] <https://www.britannica.com/science/decibel>
- [24] <https://www.rapidtables.com/electric/decibel.html>
- [25] https://web.sonoma.edu/esee/courses/ee442/archives/sp2018/supp/definition_dbm.pdf
- [26] <https://s.campbellsci.com/documents/us/technical-papers/line-of-sight-obstruction.pdf>
- [27] <https://www.hindawi.com/journals/ijap/2010/245070/>
- [28] http://radiomobile.pelmeu.nl/?Calculations:Propagation_calculation:Radio_propagation
- [29] https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-54-2009-OAS-PDF-E.pdf
- [30] <http://www.antenna-theory.com/basics/friis.php>
- [31] <https://personal.utdallas.edu/~torlak/courses/ee4367/lectures/lectureradio.pdf>

- [32] https://www.researchgate.net/publication/45692928_Calculation_of_Effective_Earth_Radius_and_Point_Refractivity_Gradient_in_UAE
- [33] https://www.radioengineering.it/pprle/Session_2a.htm#_The_k-factor
- [34] <https://www.electronics-notes.com/articles/antennas-propagation/propagation-overview/radio-signal-path-loss.php>
- [35] <https://www.electronics-notes.com/articles/antennas-propagation/propagation-overview/free-space-path-loss.php>
- [36] http://www.idc-online.com/technical_references/pdfs/electronic_engineering/Free_Space_Loss.pdf
- [37] <http://physics45spm.blogspot.com/2012/03/diffraction-of-light.html>
- [38] https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.526-14-201801-I!!PDF-E.pdf
- [39] <http://www.wirelesscommunication.nl/reference/chaptr03/fsl.htm>
- [40] <https://interline.pl/Information-and-Tips/FREE-SPACE-LOSS>
- [41] <https://www.radartutorial.eu/01.basics/Free-Space%20Path%20Loss.en.html>
- [42] <https://www.hindawi.com/journals/ijap/2017/3932487/>
- [43] <https://www.waves.utoronto.ca/prof/svhum/ece422/notes/19-diffraction.pdf>
- [44] <http://www.wirelesscommunication.nl/reference/chaptr03/diffrac.htm>
- [45] https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.526-14-201801-I!!PDF-E.pdf
- [46] https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/f/R-REC-F.1093-1-199709-S!!PDF-E.pdf
- [47] <https://www.electronics-notes.com/articles/antennas-propagation/propagation-overview/multipath-propagation.php>
- [48] <https://www.electronics-notes.com/articles/antennas-propagation/propagation-overview/multipath-fading.php>

- [49] <https://www.electronics-notes.com/articles/antennas-propagation/propagation-overview/rayleigh-fading.php>
- [50] <http://www.wirelesscommunication.nl/reference/chaptr03/rayleigh.htm>
- [51] <https://www.ceid.upatras.gr/webpages/faculty/alexiou/ahts/notes/kef08.pdf>
- [52] https://www.oocities.org/supercomgr/theory_freq.htm
- [53] <http://eclass.teipir.gr/openeclass/modules/document/file.php/ENGI114/05%20%C% A1%CE%B1%CE%B4%CE%B9%CE%BF%CE%B6%CE%B5%CF%8D%CE%BE%CE%B5%CE%B9%CF%82%20-%20%CE%A1%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%AC%CF%81%20-1%CE%BF%20%CE%9C%CE%AD%CF%81%CE%BF%CF%82.pdf>
- [54] https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/2717/4/02_chapter_07.pdf
- [55] https://www.eett.gr/openecms/openecms/EETT/Electronic_Communications/Antennas_EMR/health/EMRRadiation/RFenergy/
- [56] <http://physics4u.gr/blog/2018/06/13/%CE%BF-%CE%BC%CE%AC%CE%BE%CE%B3%CE%BF%CF%85%CE%B5%CE%BB-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%BF%CE%B9-%CE%B5%CE%BE%CE%B9%CF%83%CF%8E%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82-%CF%84%CE%BF%CF%85-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CE%BF%CE%BD/>
- [57] https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/communications/outreach/funfacts/txt_radio_spectrum.html
- [58] <https://vlf.stanford.edu/research/introduction-vlf>
- [59] <https://www.livescience.com/50399-radio-waves.html>
- [60] <https://www.britannica.com/science/electromagnetic-radiation/Radio-waves>
- [61] https://www.ihe.kit.edu/img/studium/Wave_Propagation.pdf
- [62] <https://www.electronics-notes.com/articles/antennas-propagation/propagation-overview/radio-em-wave-reflection.php>
- [63] http://wireless.ictp.it/school_2004/lectures/struzak/R_Profg_Basics.pdf

- [64] http://electron6.phys.utk.edu/optics421/modules/m1/reflection_and_refraction.htm
- [65] <https://fas.org/man/dod-101/navy/docs/es310/propagat/Propagat.htm>
- [66] http://www.science.smith.edu/geosciences/min_jb/Optics/Optics-1.pdf
- [67] http://xanthippi.ceid.upatras.gr/courses/its/Presentations/Part_A_notes.pdf
- [68] https://www.qsl.net/va3iul/Antenna/Basics_of_Radio_Wave_Propagation.pdf
- [69] http://anamorfosi.teicm.gr/ekp_yliko/e-notes/Data/comm2/main.htm#_Toc207524192
- [70] https://www.siue.edu/~yadwang/ECE375_Lec9.pdf
- [71] http://opencourses.teiwest.gr/modules/document/file.php/CIED108/1.%20CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%BB%CE%AD%CE%BE%CE%B5%CE%B9%CF%82/1.%20CE%91%CE%BA%CE%B1%CE%B4%CE%B7%CE%BC%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%8C%20%CE%AD%CF%84%CE%BF%CF%82%202016%20-%202017/Telecom_Systems_II_Lecture_11.pdf
- [72] <https://www.rfcafe.com/references/electrical/fresnel-zone.htm>
- [73] http://radiomobile.pelmeu.nl/?Calculations:Propagation_calculation:Fresnel_zones
- [74] https://www.4gon.co.uk/solutions/technical_fresnel_zones.php
- [75] http://radiomobile.pelmeu.nl/?Calculations:Propagation_calculation:Radio_coverage_probability
- [76] <https://www.netcontrol.com/services/radio-networking-tools/radio-fade-margin>
- [77] <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8304536>
- [78] <http://s.campbellsci.com/documents/us/technical-papers/link-budget.pdf>
- [79] <https://www.xirio-online.com/help/en/okumurahata.html>
- [80] <https://core.ac.uk/download/pdf/234679133.pdf>
- [81] <http://www.ee.bilkent.edu.tr/~microwave/programs/wireless/prop/CostHata.htm>
- [82] <https://airccj.org/CSCP/vol2/csit2227.pdf>

- [83] <https://core.ac.uk/download/pdf/234644661.pdf>
- [84] <https://www.ccs-labs.org/bib/sommer2012applicability/sommer2012applicability.pdf>
- [85] <https://www.gaussianwaves.com/2019/03/two-ray-ground-reflection-model/>
- [86] https://eclass.aegean.gr/modules/document/file.php/ICSD125/%CE%94%CE%B9%CE%B4%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C%20%CE%A0%CE%B1%CE%BA%CE%AD%CF%84%CE%BF/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CF%86%CE%AC%CE%BD%CE%B5%CE%B9%CE%B5%CF%82%20%CE%9C%CE%B1%CE%B8%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%82%20%28PDF%29/%CE%95%CE%BD%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1_5.pdf
- [87] [http://www.ajer.org/papers/v4\(04\)/A0440105.pdf](http://www.ajer.org/papers/v4(04)/A0440105.pdf)
- [88] http://mobilityfirst.winlab.rutgers.edu/~narayan/Course/Wless/Lecture_3_RadioPropagationModel_Sneha.pdf
- [89] <https://pdfs.semanticscholar.org/6f98/fe9f5c9d48b77d9c5d793b6a930b0e24bf73.pdf>
- [90] https://bradscholars.brad.ac.uk/bitstream/handle/10454/15503/obeidat_et_al_2018.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- [91] <http://twanclik.free.fr/electricity/electronic/pdfdone15/The%20Mobile%20Radio%20Propagation%20Channel%20-%20Second%20Edition%20-%20Wiley.pdf>
- [92] <https://journeynorth.org/tm/LongitudeIntro.html>
- [93] https://www.e-education.psu.edu/natureofgeoinfo/c2_p11.html
- [94] https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/SSGU8G_12.1.0/com.ibm.spatial.doc/ids_spat_407.htm
- [95] <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/longitude/>
- [96] http://radiomobile.pe1mew.nl/?The_program:Definitions:Maidenhead_locator
- [97] <https://enacademic.com/dic.nsf/enwiki/279962>

- [98] https://docs.qgis.org/3.16/en/docs/gentle_gis_introduction/coordinate_reference_systems.html
- [99] http://wiki.gis.com/wiki/index.php/Universal_Transverse_Mercator
- [100] <https://gisgeography.com/utm-universal-transverse-mercator-projection/>
- [101] http://wiki.gis.com/wiki/index.php/Universal_Polar_Stereographic_coordinate_system
- [102] https://www.e-education.psu.edu/natureofgeoinfo/c2_p22.html
- [103] http://wiki.gis.com/wiki/index.php/Military_Grid_Reference_System
- [104] <https://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geography/topographic-information/maps/utm-grid-map-projections/utm-grid-military-grid-reference-system/9789>
- [105] <https://www.icao.int/safety/pbn/Documentation/EUROCONTROL/Eurocontrol%20WGS%2084%20Implementation%20Manual.pdf>
- [106] https://www.unoosa.org/pdf/icg/2012/template/WGS_84.pdf
- [107] <https://gisgeography.com/wgs84-world-geodetic-system/>
- [108] https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1978journal/dec/1978_dec_1481-1485.pdf
- [109] https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-global-30-arc-second-elevation-gtopo30?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects
- [110] <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2018.00233/full>
- [111] <https://www.gislounge.com/overview-of-elevation-data/>
- [112] <http://vterrain.org/Elevation/dted.html>
- [113] https://earth-info.nga.mil/GandG/update/index.php?dir=elevation&action=elevation#tab_dted
- [114] <https://en.wikipedia.org/wiki/DTED>
- [115] <http://radiomobile.pe1mew.nl/?Geodata:DTED>

- [116] <https://earth.esa.int/web/eoportal/satellite-missions/s/srtm>
- [117] <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/shuttle-radar-topography-mission>
- [118] https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1-arc?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects
- [119] https://www.researchgate.net/publication/200459069_The_Shuttle_Radar_Topography_Mission
- [120] https://serc.carleton.edu/sp/library/google_earth/what.html
- [121] <https://unearthlabs.com/blog/breakroom/what-is-google-earth/>
- [122] https://en.wikipedia.org/wiki/Google_Earth#Google_Mars
- [123] http://radiomobile.pe1mew.nl/?The_program

