



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗ
ΜΙΚΡΟΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επίδραση καιρικών συνθηκών της τροπόσφαιρας σε ασύρματες
ζεύξεις μικροκυματικών συχνοτήτων Wi-Fi

Κωνσταντίνος Νικολάου Αλβέρτος

Επιβλέπουσα: Ευαγγελία Καραγιάννη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΣΝΔ

ΑΘΗΝΑ

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2017

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επίδραση καιρικών συνθηκών της τροπόσφαιρας σε ασύρματες ζεύξεις μικροκυματικών
συχνοτήτων Wi-Fi

Κωνσταντίνος Νικολάου Αλβέρτος

A.M.: MM245

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: Ευαγγελία Καραγιάννη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΣΝΔ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ: Νικόλαος Ουζούνογλου, Καθηγητής ΕΜΠ
Ευαγγελία Καραγιάννη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΣΝΔ
Χρίστος Βαζούρας, Επίκουρος Καθηγητής ΣΝΔ

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2017

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζονται ασύρματες ζεύξεις στα εύρη συχνοτήτων 2,412 – 2,484 GHz (πρότυπο 802.11 b/g/n) και 5,150 – 5,725 GHz (πρότυπο 802.11a/n/ac). Περιγράφεται και αναλύεται η επίδραση των καιρικών φαινομένων σε συνδυασμό με τις φυσικές ιδιότητες των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά δεδομένων, στις συχνοτητες ενδιαφέροντος. Τέλος περιγράφεται η κατασκευή κατάλληλης κεραίας Bow-Tie για χρήση σε WLAN δίκτυα, καθώς και η πειραματική διαδικασία που πραγματοποιήθηκε για να αποδειχθεί η σφοδρή επίδραση του είδους του μέσου διάδοσης στην διάδοση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος, και κατά συνέπεια η επίδραση των καθημερινών καιρικών συνθηκών.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΧΗ: Μικροκυματικές Ζεύξεις

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Ασύρματες Ζεύξεις, Καιρικά Φαινόμενα, Μικροκύματα, 2.4 GHz, 5.1 GHz

ABSTRACT

We will analyze wireless coupling within the frequency band of 2.214 – 2.484 GHz (protocol IEEE 802.11 b/g/n) and 5.150 – 5.725 GHz (protocol IEEE 802.11a/n/ac). We shall explain various weather conditions that occur on a daily basis, the physical properties of the electromagnetic waves that are used for data transfer, the design of a microwave amplifier for S band and C band waves. Finally we shall explain and show how our electromagnetic wave changes and alters from the various weather conditions

SUBJECT AREA: Microwave Antennas and Propagation

KEYWORDS: Microwaves, Weather Conditions, Wireless propagation, 2,4 GHz, 5,1 GHz

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην επιβλέπουσα Καθηγήτρια
Δρ. Ευαγγελία Καραγιάννη για την υποστήριξη, υπομονή και καθοδήγηση της
διπλωματικής μου εργασίας

Επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ στον Δρ. Βασίλειο Ψυλόγλου για την ελεύθερη
πρόσβαση στα δεδομένα που μου παρείχε από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	12
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ, ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	13
1.1 Wi-Fi (Wireless Fidelity)	13
1.1.1 Πρότυπο IEEE 802.11	13
1.1.2 802.11b	13
1.1.3 802.11a	13
1.1.4 802.11g	14
1.1.5 802.11n	14
1.1.6 802.11ac.....	15
1.2 Μεθόδοι Ασφαλείας	15
1.2.1 WEP (Wireless Equivalent Key).....	16
1.2.2 WPA (Wi-Fi Protected Access)	16
1.2.3 WPA2 (Wi-Fi Protected Access II)	16
1.3 Μέτρηση σήματος ενός δικτύου Wi-Fi.....	16
2. ΚΑΙΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ	19
2.1 Ομίχλη.....	19
2.2 Βροχόπτωση.....	21
2.2.1 Ένταση Βροχόπτωσης.....	21
2.2.2 Τρόπος σχηματισμού βροχοπτώσεων.....	22
2.2.3 Αλλαγή σχήματος σταγόνας ως προς το μέγεθος	24
2.2.4 Μέθοδοι εκτίμησης απόσβεσης ηλεκτρομαγνητικού κύματος λόγω βροχόπτωσης	25
2.3 Χιόνι	27
2.4 Χαλάζι.....	28
3. ΥΠΟΒΡΥΧΙΕΣ ΖΕΥΞΕΙΣ.....	30
3.1 Ιδιότητες νερού και αέρα ως μέσα Η/Μ κυμάτων	30
3.2 Απώλεια διαδρομής	30
3.3 Ανακλάσεις από τις διεπαφές του νερού	31

4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΕΡΑΙΑΣ ΓΙΑ ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΖΕΥΞΕΙΣ	33
4.1 Σχεδίαση και εξομοίωση κεραίας.....	33
4.2 Κατασκευή κεραίας σχήματος πατιγιόν.....	35
5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	39
5.1 Διαδικασία Πειράματος και τιμές με μέσο τον ατμοσφαιρικό αέρα.....	39
5.2 Διαδικασία Πειράματος και τιμές με μέσο το νερό	57
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	64
ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	65
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	66
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	78

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 4.1: Αποτελέσματα υποβρύχιας εξομοίωσης	36
Σχήμα 5.1: Γραφική Παράσταση Μετρήσεων 23 Ιανουαρίου.....	46
Σχήμα 5.2: Γραφική Παράσταση Μετρήσεων 25 Ιανουαρίου.....	49
Σχήμα 5.3: Γραφική Παράσταση Μετρήσεων 30-31 Ιανουαρίου.....	52
Σχήμα 5.4: Γραφική Παράσταση Μετρήσεων 5 Φεβρουαρίου.....	55
Σχήμα 5.5: Γραφική Παράσταση Μετρήσεων 10 Φεβρουαρίου.....	58
Σχήμα 5.6: Διαφοροποίηση σήματος ενώ αλλάζει η απόσταση με μέσο τον ατμοσφαιρικό αέρα (κενό).....	62
Σχήμα 5.7: Διαφοροποίηση σήματος ενώ αλλάζει η απόσταση με μέσο το νερό.....	64

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1: Διαφορές μεταξύ ξηράς και υγρής αχλύς όταν έρχονται σε επαφή με μια επιφάνεια.....	20
Εικόνα 2.2: Φωτογραφία περιοχής όπου αναπτύσσεται ομίχλη ακτινοβολίας.....	21
Εικόνα 2.3: Γραφική επεξήγηση της ομίχλης αναμίξεως.....	21
Εικόνα 2.4: Γραφική επεξήγηση της ομίχλης οριζόντιας μεταφοράς.....	22
Εικόνα 2.5: Γραφική επεξήγηση βροχής κατακόρυφης μεταφοράς.....	23
Εικόνα 2.6: Γραφική επεξήγηση ορογραφικής βροχής.....	23
Εικόνα 2.7: Γραφική επεξήγηση μετοπικής βροχής.....	24
Εικόνα 2.8: Επιπτώσεις στη φύση μετά από ρίψη όξινης βροχής.....	24
Εικόνα 2.9: Αλλαγή σχήματος σταγόνας ανάλογα με το μέγεθος της.....	26
Εικόνα 2.10: Θρυματισμός σταγόνας 5 mm σε διάμετρο όπου πέφτει από το ίδιο της το βάρος. Ο συνολικός χρόνος του φαινομένου διαρκεί 60 ms.....	26
Εικόνα 2.11: Φωτογραφίες διαφόρων νιφάδων χιονιού από τον Wilson A. Bentley.....	28
Εικόνα 2.12 Προειδοποιητικό σημάδι για πιθανή χαλαζόπτωση είναι συχνά ένα αλλόκοτο και χαρακτηριστικό πράσινο χρώμα που παίρνουν τα σύννεφα.....	29
Εικόνα 2.13: Χαλαζόκοκκος-τέρας με αγκαθωτές προεξοχές, διαμέτρου 13,5 εκατοστών, που έπεσε στο Harper του Κάνσας, στις 14 Μαΐου 2004.....	30
Εικόνα 3.1: Μοντέλο καναλιού τριών διαύλων.....	33
Εικόνα 4.1: Σχεδιασμός κεραίας εντός μέσου στο πρόγραμμα HFSS.....	34
Εικόνα 4.2: Τοποθέτηση της κεραίας πάνω στην πλάκα χαλκού με τα δύο άκρα να φαίνονται πριν συνδεθούν με το καλώδιο κεραίας.....	36
Εικόνα 4.3: Η κεραία με τη μόνωση του καλωδίου αμέσως μετά τις υποβρυχίες μετρήσεις με μόνωση.....	37
Εικόνα 4.4: Η κεραία χωρίς μόνωση του καλωδίου μετά τις υποβρυχίες μετρήσεις χωρίς μόνωση.....	38
Εικόνα 4.5: Η κεραία χωρίς τη μόνωση κατά τη διάρκεια υποβρύχιων μετρήσεων.....	39
Εικόνα 5.1: Σύνθεση του Raspberry Pi 2 με WiFi USB Adaptor και Powerbank.....	59
Εικόνα 5.2: Πρώτη μέτρηση με μέσο το κενό (σε απόσταση 5cm).....	59

Εικόνα 5.3: Η κεραία που βρίσκεται υποβρύχια για μετρήσεις με μέσο το νερό.....60

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1: Χαρακτηριστικά πρότυπου IEEE 802.11b.....	12
Πίνακας 1.2: Χαρακτηριστικά πρότυπου IEEE 802.11a.....	13
Πίνακας 1.3: Χαρακτηριστικά πρότυπου IEEE 802.11g.....	13
Πίνακας 1.4: Χαρακτηριστικά πρότυπου IEEE 802.11n.....	14
Πίνακας 1.5: Χαρακτηριστικά πρότυπου IEEE 802.11ac.....	14
Πίνακας 1.6: Αντιστοιχία επιπέδου ισχύος, πραγματικής ισχύος και πιθανή χρήση.....	16
Πίνακας 2.1: Τυπικά μεγέθη σταγόνας.....	24
Πίνακας 5.1: Καιρικά δεδομένα και δύναμη σήματος για τις 23 Ιανουαρίου 2016.....	39
Πίνακας 5.2: Καιρικά δεδομένα και δύναμη σήματος για τις 25 Ιανουαρίου 2016.....	46
Πίνακας 5.3: Καιρικά δεδομένα και δύναμη σήματος για τις 30 Ιανουαρίου 2016.....	49
Πίνακας 5.4: Καιρικά δεδομένα και δύναμη σήματος για τις 5 Φεβρουαρίου 2016.....	52
Πίνακας 5.5: Καιρικά δεδομένα και δύναμη σήματος για τις 5 Φεβρουαρίου 2016.....	55
Πίνακας 5.6: Δύναμη σήματος για συγκεκριμένες τιμές με συγκεκριμένη απόσταση με μέσο τον ατμοσφαιρικό αέρα.....	59
Πίνακας 5.7: Δύναμη σήματος για συγκεκριμένες τιμές με συγκεκριμένη απόσταση με μέσο το νερό.....	62

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η συγκεκριμένη διπλωματική διέρκησε παραπάνω από τον αναμενόμενο χρόνο για πολλαπλούς λόγους. Ο πιο σημαντικός ήταν η συλλογή δεδομένων υπό τις διάφορες καιρικές συνθήκες όπως επίσης η ανάγκη υπομονής, εύρεσης κατάλληλου εξοπλισμού και ρυθμίσής του ήταν τεράστια. Μετά από 1μιση χρόνο εκπληρώθηκε η καταπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

1.1 Wi-Fi (Wireless Fidelity)

Wi-Fi είναι μια τεχνολογία για ασύρματη δικτυακή τοπολογία όπου δίνει τη δυνατότητα σε ηλεκτρονικές συσκευές (όπου έχουν τη δυνατότητα) να συνδεθούν χρησιμοποιώντας συχνότητες των 2.4 GHz (μήκος κύματος 12 cm) και 5 GHz (μήκος κύματος 6 cm). Η χρήση ενός συγκεκριμένης τεχνολογίας έχει διαδοθεί σε κάθε είδους ψηφιακή συσκευή (από ψυγεία μέχρι κινητά τηλέφωνα).

1.1.1 Πρότυπο IEEE 802.11

Το πρότυπο 802.11 ενός IEEE είναι μια ομάδα προδιαγραφών στο φυσικό επίπεδο (Physical Layer of the OSI) ώστε να εφαρμοσθεί ασύρματη τοπική δικτύωση σε συχνότητες των 2.4, 3.6, 5 και 60 GHz. Η πρώτη έκδοση εκδόθηκε το 1997 και έχουν γίνει πολλαπλές βελτιώσεις και αλλαγές. Μέχρι σήμερα υπάρχουν 5 πρότυπα λειτουργίας όπου οι αλλαγές βασίζονται στο εύρος ζώνης που χρησιμοποιείται και στη συχνότητα λειτουργίας.

1.1.2 802.11b

Το πρότυπο 802.11b ήταν το πρώτο πρότυπο LAN που χρησιμοποιήθηκε ευρέως σε διάφορες συσκευές (εντός φορητών ηλεκτρονικών υπολογιστών και σε διάφορες μορφές εξοπλισμού). Η μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων βρίσκεται στα 11 Mbps και μέγιστη εμβέλεια 30 μέτρα (εντός κτίριου).

Πίνακας 1.1: Χαρακτηριστικά πρότυπου IEEE 802.11b

PARAMETER	VALUE
Date of standard approval	July 1999
Maximum data rate (Mbps)	11
Typical data rate (Mbps)	5
Typical range indoors (Metres)	~30
Modulation	CCK (DSSS)
RF Band (GHz)	2.4
Channel width (MHz)	20

1.1.3 802.11a

Το πρότυπο 802.11a έχει τη δυνατότητα υψηλής απόδοσης λόγω της συχνότητας που λειτουργεί (λιγότερες παρεμβολές στα 5 GHz). Αν και το πρότυπο 802.11a βγήκε την ίδια εποχή με το 802.11b, δεν εξαπλώθηκε διότι το 802.11b απέδιδε υψηλότερες ταχύτητες δεδομένων. Ο λόγος ήταν η συχνότητα λειτουργίας, η οποία έκανε το κόστος των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων υπερβολικά υψηλό.

Πίνακας 1.2: Χαρακτηριστικά πρότυπου IEEE 802.11a

PARAMETER	VALUE
Date of standard approval	July 1999
Maximum data rate (Mbps)	54
Typical data rate (Mbps)	25
Typical range indoors (Metres)	~30
Modulation	OFDM
RF Band (GHz)	5
Number of spatial streams	1
Channel width (MHz)	20

1.1.4 802.11g

Το 802.11b είναι ο προκάτοχος του προτύπου 802.11g και λειτουργεί στη συχνότητα 2.4 GHz της μπάντας ISM. Παρόλο που διαθέτει μέγιστη ταχύτητα δεδομένων της τάξης των 54 Mbps, η πραγματική ταχύτητα είναι λίγο παραπάνω από 24 Mbps. Αν και υπάρχει συμβατότητα με το 802.11b η ύπαρξη συσκευής που δουλεύει με αυτό το πρότυπο μειώνει αισθητά την ταχύτητα του δικτύου. Για να πραγματοποιηθούν οι αυξημένες ταχύτητες και να παραμείνει η συμβατότητα στο πρότυπο 802.11g χρησιμοποιείται OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex).

Πίνακας 1.3: Χαρακτηριστικά πρότυπου IEEE 802.11g

IEEE 802.11G WI-FI FEATURES	
FEATURE	802.11G
Date of standard approval	June 2003
Maximum data rate (Mbps)	54
Modulation	CCK, DSSS, or OFDM
RF Band (GHz)	2.4
Channel width (MHz)	20

1.1.5 802.11n

Με την εδραίωση των προτύπων 802.11a, 802.11b και 802.11g, μελετήθηκε η δυνατότητα αύξησης της μέγιστης ταχύτητας. Το αποτέλεσμα προέκυψε τον Ιανουάριο του 2004, όταν η IEEE ανακοίνωσε το πρότυπο 802.11n. Οι κατασκευαστές συμφώνησαν για τις συσκευές που θα αξιοποιούν το συγκεκριμένο πρότυπο το οποίο επίσημα κυκλοφορεί το 2009 ως έκδοση 802.11n. Το πρότυπο αυτό είναι συμβατό με τα προηγούμενα πρότυπα (στις ίδιες συχνότητες). Επειδή αυτή η συμβατότητα έχει κόστος ως προς την ταχύτητα υπάρχει η δυνατότητα να απενεργοποιηθεί. Πιο συγκεκριμένα υπάρχουν 3 ρυθμίσεις λειτουργίας.

- Legacy (μόνο 802.11b και 802.11g)
- Mixed (802.11b, 802.11g και 802.11n)
- Greenfield (802.11n)

Στην ρύθμιση λειτουργίας Greenfield έχουμε τη δυνατότητα μέγιστης ταχύτητας όπου η μέγιστη θεωρητική ταχύτητα φτάνει τα 600 Mbps.

Πίνακας 1.4: Χαρακτηριστικά πρότυπου IEEE 802.11n

IEEE 802.11N SALIENT FEATURES	
PARAMETER	IEEE 802.11N STANDARD
Maximum data rate (Mbps)	600
RF Band (GHz)	2.4 or 5
Modulation	CCK, DSSS, or OFDM
Number of spatial streams	1, 2, 3, or 4
Channel width (MHz)	20, or 40

Αξίζει να σημειωθεί ότι με το συγκεκριμένο πρότυπο το εύρος ζώνης από 20MHz έχει διπλασιαστεί στα 40MHz, η τεχνολογία κεραιών έχει βελτιωθεί με την δημιουργία κατευθυντικότητας του σήματος. Τέλος μειώνεται η κατανάλωση ενέργειας αλλάζοντας το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων.

1.1.6 802.11ac

Το πρότυπο 802.11ac δημιουργήθηκε για να αυξήσει την ελάχιστη ταχύτητα σε δίκτυα Wi-Fi στο 1 Gbps με μέγιστη κοντά στα 7 Gbps, κάτι που κάνει το συγκεκριμένο πρότυπο ιδανικό για ζωντανή μετάδοση video.

Πίνακας 1.5: Χαρακτηριστικά πρότυπου IEEE 802.11ac

IEEE 802.11AC SALIENT FEATURES	
PARAMETER	DETAILS
Frequency band	5.8 GHz ISM (unlicensed) band
Max data rate	6.93 Gbps
Transmission bandwidth	20, 40, & 80 MHz 160 & 80 + 80 MHz optional
Modulation formats	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM 256-QAM optional
FEC coding	Convolutional or LPDC (optional) with coding rates of 1/2, 2/3, 3/4, or 5/6
MIMO	Both single and multi-user MIMO with up to 8 spatial streams.
Beam-forming	Optional

1.2 Μεθόδους Ασφαλείας

Ένα ασύρματο δίκτυο λόγω της φύσης του είναι επιρρεπές ως ενός την κλοπή δεδομένων με διάφορες τεχνικές. Για να αυξηθεί το απόρρητο των δεδομένων αυτών που χρησιμοποιούν δίκτυο WI-Fi έχουν σχεδιαστεί αλγόριθμοι ασφαλείας.

1.2.1 WEP (Wireless Equivalent Key)

Ο πρώτος αλγόριθμος που αξιοποιήθηκε για την ασφάλεια ασύρματων δικτύων Wi-Fi λεγόταν WEP και καθιερώθηκε το 1999. Ο αλγόριθμος δεν ήταν ιδιαίτερα αποδοτικός ως προς την προστασία του δικτύου, αφού χρησιμοποιούσε κλειδί κρυπτογράφησης 64-bit και λόγω μιας νομοθεσίας των Ηνωμένων Πολιτειών στο θέμα εξαγωγής και δημοσίευσης κρυπτογραφικών τεχνολογιών, δεν επιτρεπόνταν στους κατασκευαστές να αυξήσουν το κλειδί στα 128-bit. Με τη πάροδο του χρόνου συνδυαστικά με την αύξηση της υπολογιστικής ισχύος, το WEP αδυνατούσε να ασφαλίσει ένα ασύρματο δίκτυο αφού το 2005 υπήρχαν προγράμματα που μπορούσαν εγγυημένα να βρουν το κλειδί μέσα σε μερικές ώρες.

1.2.2 WPA (Wi-Fi Protected Access)

Μετά την αναποτελεσματικότητα του WEP το 2003 πριν επίσημα αποσυρθεί, υιοθετήθηκε το WPA. Η πιο κοινή διαμόρφωση του WPA ήταν η χρήση κρυπτογραφημένου κλειδιού 256-bit αλλά οι μεγαλύτερες αλλαγές ήταν στον έλεγχο της ακεραιότητας των δεδομένων (message integrity checks) και επίσης στο πρωτόκολλο ακεραιότητας προσωρινού κλειδιού (TKIP: Temporal Key Integrity Protocol), το οποίο δημιουργούσε ένα κλειδί ανάλογα με τα δεδομένα υπό μεταφορά. Στη συνέχεια το TKIP άλλαξε στο προηγμένο πρότυπο κρυπτογράφησης AES (Advanced Encryption Standard). Στη συνέχεια το πρότυπο WPA θεωρήθηκε ανασφαλές λόγω των σημαντικών ελλείψεων στο WPS (Wi-Fi Protected Setup) όπου με τη δυνατότητα ενός κουμπιού μπορούσαν να συνδεθούν δύο συσκευές αλλά επίσης να κλαπεί ο συνδυασμός που χρησιμοποιούσαν αυτές οι δύο συσκευές..

1.2.3 WPA2 (Wi-Fi Protected Access II)

Η τελευταία δημιουργία αλγόριθμου ασφαλείας σε δίκτυα Wi-Fi είναι το WPA2. Με τη προσθήκη του CCMP (Counter Cipher Mode with Block Chaining Message Authentication Code Protocol) η ασφάλεια του δικτύου αυξήθηκε έχοντας ως μόνο ελάττωμα το WPS όπου με το κατάλληλο πρόγραμμα μέσα σε 2-14 ώρες μπορείς να σπάσει κάποιος τον κωδικό του δικτύου.

1.3 Μέτρηση σήματος ενός δικτύου Wi-Fi

Για τη μέτρηση της ισχύος του σήματος ενός δικτύου Wi-Fi χρησιμοποιούμε ως μονάδα τα Decibel-Milliwatt (dBm). Είναι η μέτρηση της ισχύος έχοντας ως παραδοχή ότι τα 0 dBm αντιστοιχούν σε 1 mW. Για να εκφράσουμε την ισχύ σε dBm από miliWatt αξιοποιούμε τον τύπο (όπου P η ισχύς σε milliWatt ή Watt και x σε dBm):

$$x = 10 \log_{10} \frac{P}{1\text{mW}}$$

Για την έκφραση σε dBm από Watt:

$$x = 30 + 10 \log_{10} \frac{P}{1\text{W}}$$

Και αντιστρόφως η έκφραση από dBm σε milliWatt:

$$P = 1\text{mW} \cdot 10^{\frac{x}{10}}$$

Ενώ σε Watt:

$$P = 1\text{W} \cdot 10^{\frac{x-30}{10}}$$

Για μια σταθερή μετάδοση δεδομένων σε δίκτυο Wi-Fi η ελάχιστη τιμή βρίσκεται στα -73 dBm που αντιστοιχεί στα 50,12 pW). Η ισχύς που φτάνει από την πηγή εξαρτάται από πολλαπλούς παράγοντες αλλά οι πιο βασικοί είναι αν υπάρχει οπτική επαφή (line of sight όπου στη συγκεκριμένη περίπτωση η απόσταση μπορεί να επεκταθεί σε τεράστιο βαθμό), αν υπάρχουν εμπόδια ο αριθμός αυτών και η πυκνότητα του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένα. Παρακάτω δίνεται ενός πίνακας αντιστοιχίας dBm σε Watt και κάποιο πρακτικό παράδειγμα χρήσης.

Πίνακας 1.6: Αντιστοιχία επιπέδου ισχύος, πραγματικής ισχύος και πιθανή χρήση

Επίπεδο Ισχύς	Ισχύς	Χρήση
80 dBm	100 kW	Τυπικός πομπός ραδιοφώνου για FM
62 dBm	1,588 kW	1,500 W η μέγιστη ισχύς για πομπούς τύπου ham ενός Η.Π.Α.
60 dBm	1,000 kW	Τυπική εκπομπή ενέργειας ενός φούρνου μικροκυμάτων
55 dBm	~300 W	Typical single-channel RF output power of a Ku-Band GEO-stationary satellite
50 dBm	100 W	Μέγιστη RF ισχύς για πομπό ham radio HF
40 dBm	10 W	Πρωτόκολλο επικοινωνίας σε γραμμή μεταφοράς ρεύματος
37 dBm	5 W	Μέγιστη RF ισχύς για φορητό πομπό ham radio handheld radio VHF/UHF
33 dBm	2 W	Μέγιστη ισχύς για κινητό τηλέφωνο που λειτουργεί ενός συχνοτήτες GSM 850/900.
30 dBm	1,000 mW	Μέγιστη ισχύς για κινητό τηλέφωνο που λειτουργεί ενός συχνοτήτες

		DCS/GSM 1800/1900.
27 dBm	500 mW	Μέγιστη ισχύς για UMTS/3G (Επίπεδο ισχύος 2)
24 dBm	251 mW	Μέγιστη ισχύς για UMTS/3G (Επίπεδο ισχύος 3) 1,880–1,900 MHz DECT (250 mW ανά 1,728 kHz channel). EIRP για Wireless LAN IEEE 802.11a (κανάλια με εύρος 20 MHz στα 5 GHz υπομπάντα 1 (5,180–5,320 MHz))
21 dBm	125 mW	Μέγιστη ισχύς για UMTS/3G (Επίπεδο ισχύος 4)
20 dBm	100 mW	Bluetooth Class 1
15 dBm	32 mW	Τυπική εκπομπή ισχύος μιας κάρτας δικτύου Wi-Fi ενός φορητού Η/Υ.
4 dBm	2.5 mW	Bluetooth Class 2 με εμβέλεια 10 μέτρα
0 dBm	1.0 mW = 1,000 μ W	Bluetooth standard (Class 3) με εμβέλεια 1 μέτρο
-10 dBm	100 μ W	Μέγιστη ισχύς που δέχεται μια κάρτα δικτύου για δίκτυο Wi-Fi
-73 dBm	50.12 pW	Σήμα τύπου S9, δυνατό σήμα που δέχεται δέκτης τύπου ham στη μπάντα των shortwaves.
-100 dBm	0,1 pW	Μέγιστη ισχύς που δέχεται μια κάρτα δικτύου για τον εντοπισμό ενός δικτύου Wi-Fi
-111 dBm	0,008 pW = 8 fW	Θερμικός θόρυβος για εύρος ζώνης στα 2 MHz για GPS
-127.5 dBm	0,178 fW = 178 aW	Τυπική ισχύς σήματος από δορυφόρο GPS
-174 dBm	0,004 aW = 4 zW	Θερμικός θόρυβος για εύρος ζώνης 1 Hz σε θερμοκρασία δωματίου (20 °C)
-192.5 dBm	0,056 zW = 56 yW	Θερμικός θόρυβος για εύρος ζώνης 1 Hz στο διάστημα (4 kelvins)

2. ΚΑΙΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

Η ατμόσφαιρα της γης διέπεται από αλλαγές. Αυτές οι αλλαγές στην τροπόσφαιρα (το επίπεδο της ατμόσφαιρας στο οποίο ζούμε), αλλάζει ανάλογα με τις καταστάσεις της θερμοκρασίας, πίεσης, υγρασίας και του ανέμου (ένταση και διεύθυνση). Οπότε αν θέλουμε να δώσουμε μια ορολογία θα θέταμε τις αισθητές αλλαγές των μετεωρολογικών παραμέτρων σε συγκεκριμένο τόπο και χρόνο.

2.1 Ομίχλη

Η ομίχλη είναι ένα φυσικό φαινόμενο που πραγματοποιείται στην ατμόσφαιρα, πολύ κοντά στην επιφάνεια του εδάφους ή της θάλασσας. Αποτελείται από πολύ μικρά υδροσταγονίδια προερχόμενα από την συμπύκνωση των υδρατμών της ατμόσφαιρας.

Κύριο χαρακτηριστικό της ομίχλης είναι η ελάττωση ορατότητας όπου κάνει και το συγκεκριμένο φαινόμενο αισθητό. Έχουμε δύο μεθόδους κατάταξης της ομίχλης, ανάλογα με την επιτρεπτή ορατότητα και ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού.

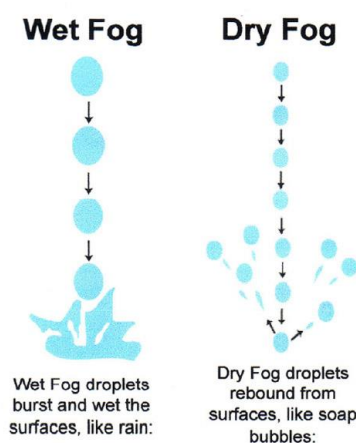
Μέθοδος επιτρεπτής ορατότητας

Έχουμε 3 κατηγορίες στις οποίες κατατάσσεται:

•Ξηρά αχλύς: Στην ξηρά αχλύ έχουμε ορατότητα άνω των 2 χιλιομέτρων. Συνήθως δημιουργείται από σκόνη, χώμα και άλλα ξηρά σωματίδια.

•Υγρή αχλύς: Στην υγρή αχλύ έχουμε ορατότητα από 1 έως 2 χιλιόμετρα. Αποτελείται από πολλά μικρά υγρά σταγονίδια εντός του αέρα. Το φαινόμενο παρατηρείται όταν αέρας με υψηλή πυκνότητα υγρασίας, έρχεται σε επαφή με μια πολύ θερμή επιφάνεια.

•Ομίχλη: Η ομίχλη είναι ίδια με την υγρή αχλύ στον τρόπο δημιουργίας αλλά η ορατότητα μειώνεται κάτω του ενός χιλιομέτρου.



Εικόνα 2.1: Διαφορές μεταξύ ξηράς και υγρής αχλύς όταν έρχονται σε επαφή με μια επιφάνεια

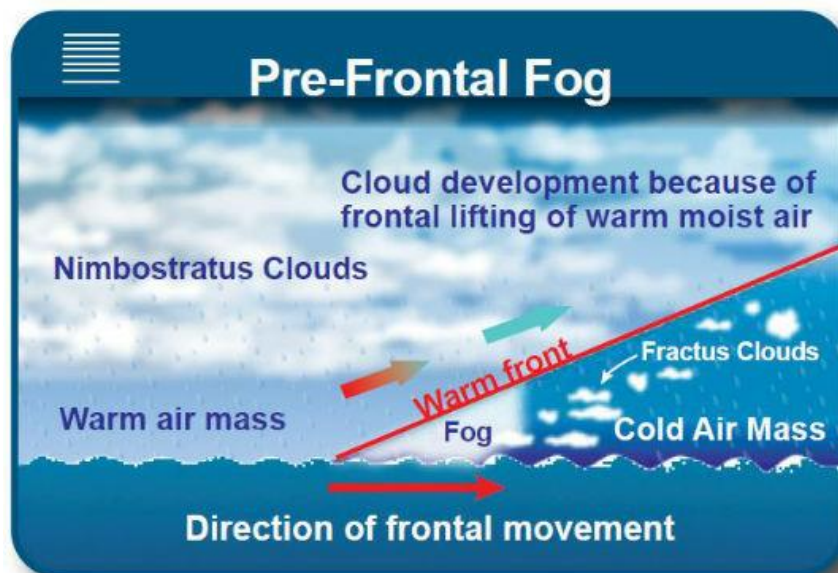
Μέθοδος σχηματισμού

- Ομίχλη ακτινοβολίας: Η ομίχλη ακτινοβολίας δημιουργείται λόγω επαφής του αέρα με την επιφάνεια του εδάφους όταν αυτή προηγουμένως έχει ψυχθεί πολύ περισσότερο λόγω της νυκτερινής ακτινοβολίας.



Εικόνα 2.2: Φωτογραφία περιοχής όπου αναπτύσσεται ομίχλη ακτινοβολίας

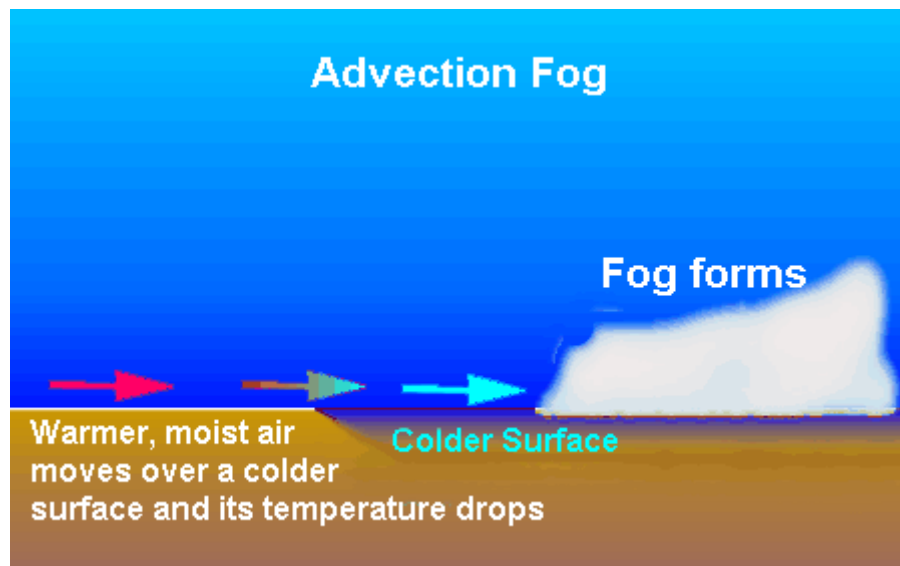
- Ομίχλη αναμίξεως: Η ομίχλη αναμίξεως είναι το αποτέλεσμα επαφής δύο αέριων μαζών διαφορετικής θερμοκρασίας και υγρασίας.



Εικόνα 2.3: Γραφική επεξήγηση της ομίχλης αναμίξεως

- Ομίχλη οριζόντιας μεταφοράς: Η ομίχλη οριζόντιας μεταφοράς σχηματίζεται από την μεταφορά υγρού και σχετικά θερμού αέρα πάνω από ψυχρότερη επιφάνεια. Απαραίτητος όμως όρος δημιουργίας της είναι η ψυχρή επιφάνεια ξηράς ή

θάλασσας να είναι τόσο ψυχρή που να μπορεί να κατεβάσει τη θερμοκρασία του υπερκείμενου διερχόμενου θερμού και υγρού αέρα κάτω από το σημείο δρόσου του.



Εικόνα 2.4: Γραφική επεξήγηση της ομίχλης οριζόντιας μεταφοράς

2.2 Βροχόπτωση

Η πτώση βροχής από τα σύννεφα ονομάζεται βροχόπτωση. Η διάκριση βασίζεται στην ένταση της βροχόπτωσης όπου μετριέται σε χιλιοστά βροχής που πέφτουν ανά ώρα, με ένα ειδικό εργαλείο το βροχόμετρο καθώς και στον τρόπο σχηματισμού της βροχής.

2.2.1 Ένταση Βροχόπτωσης

Οι μετεωρολόγοι ανάλογα με την ένταση της βροχής έχουν τις ακόλουθες κατηγορίες βροχόπτωσης όπου βασίζονται στο ύψος της βροχής:

- Ασθενής βροχόπτωση: <2 mm/h. Η συνηθισμένη τιμή φθάνει στα 0,5 mm/h. Η βροχή αυτή προέρχεται από σύννεφα με πάχος μικρότερο από 2 Km.
- Μέτρια βροχόπτωση: 2-6 mm/h.
- Ισχυρή βροχόπτωση: >6 mm/h. Σε ξαφνικές μπόρες μεγάλης έντασης. Όταν το ύψος της βροχής ξεπερνάει τα 10 mm/h η βροχή αυτή θεωρείται απότομη, συντελείται από μεγάλες σταγόνες και πολλές φορές συνοδεύεται από χαλάζι.
- Βίαιη βροχόπτωση: 50 mm/h. Αυτού του τύπου οι βροχοπτώσεις θεωρούνται στατιστικώς σπάνιο φαινόμενο και έχουν εμφανιστεί κάποιες στιγμές στο κόσμο.

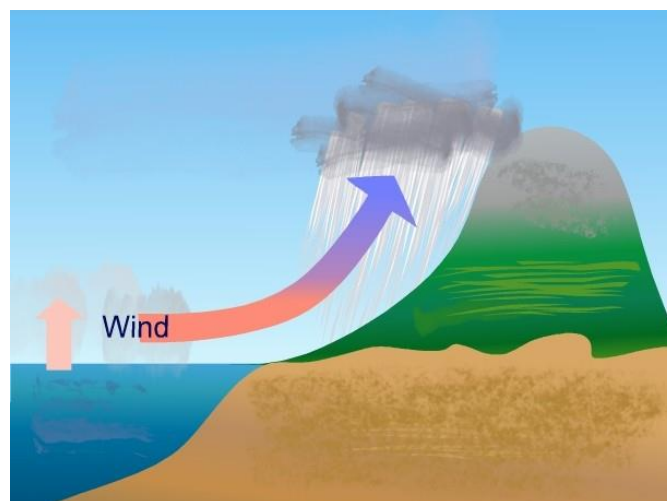
2.2.2 Τρόπος σχηματισμού βροχοπτώσεων

- Βροχές κατακόρυφης μεταφοράς: Αυτός ο τύπος βροχής προέρχεται από σωρείτες και σωρειτομελανίες, δηλαδή σύννεφα ανοδικών ρευμάτων όπου τις συναντάμε σε χώρες μακριά από τον Ισημερινό.



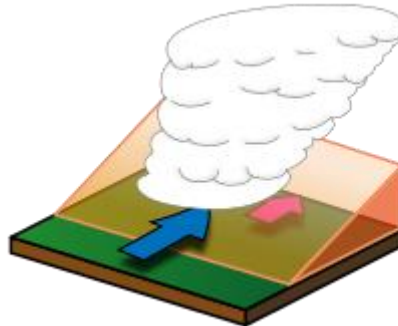
Εικόνα 2.5: Γραφική επεξήγηση βροχής κατακόρυφης μεταφοράς

- Ορογραφικές βροχές: Οι συγκεκριμένες βροχές βρίσκονται στις βουνοπλαγιές που έχουν προσανατολισμό προς τις ακτές. Ο αέρας που βρίσκεται πάνω από ωκεανούς και θάλασσες είναι πλούσιος σε υδρατμούς. Όταν φτάσει το βουνό πρέπει να υπερπηδήσει την έξαρση με αποτέλεσμα αύξησης του υψόμετρου. Με την αύξηση του υψόμετρου έχουμε ραγδαία μείωση της θερμοκρασίας σύμπτυκνωση των υδρατμών και τελικό αποτέλεσμα τη βροχή.



Εικόνα 2.6: Γραφική επεξήγηση ορογραφικής βροχής

- Βροχές μετώπου ή μετωπικές βροχές: Ο πιο συνηθισμένος τύπος βροχόπτωσης, καλύπτει πολλές εκατοντάδες χιλιόμετρα σε μία ημέρα. Η δημιουργία τους πραγματοποιείται από ανέμους που μεταφέρουν θερμότητα από τις τροπικές περιοχές προς τους Πόλους και στα μέσα γεωγραφικά πλάτη.



Εικόνα 2.7: Γραφική επεξήγηση μετοπικής βροχής

- Όξινη βροχή: Θεωρείται η βροχή που περιέχει αφύσικα όξινα μετεωρολογικά κατακρημνίσματα. Ο λόγος που τίθεται η λέξη αφύσικο στην ορολογία έχει ως σκοπό να τονίσει στοιχεία ή ουσίες εντός της βροχής που βρίσκονται λόγω ανθρωπίνου παράγοντα ή έχουν κάποιο ρυπογόνο αποτέλεσμα. Η βροχή από τη φύση της σε καθαρό περιβάλλον έχει όξινο pH.



Εικόνα 2.8: Επιπτώσεις στη φύση μετά από ρίψη όξινης βροχής.

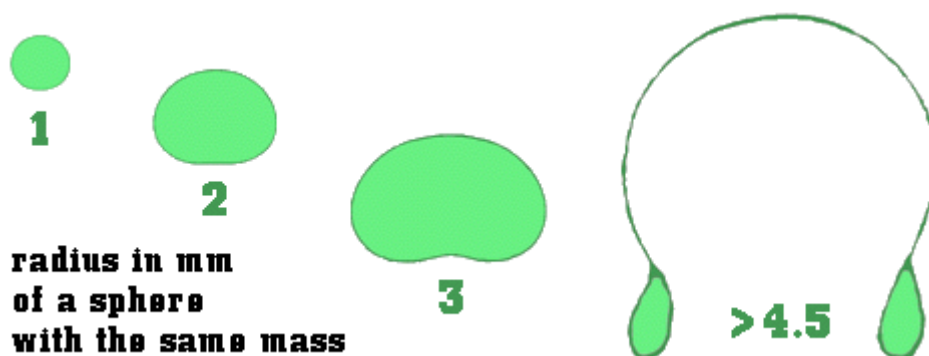
2.2.3 Αλλαγή σχήματος σταγόνας ως προς το μέγεθος

Μια σταγόνα βροχής δημιουργείται από υδρατμούς (νερό στον αέρα). Με τους υδρατμούς αυτούς υπάρχουν μικρά σωματίδια που ονομάζονται πυρήνες πύκνωσης (condensation nuclei). Για παράδειγμα, μικρά κομμάτια αλατιού από νερό θάλασσας, εξατμίζεται ή κάποιο σωματίδιο καπνού ή σκόνης. Η πύκνωση δημιουργείται όταν σταγονίδια υδρατμών προσκολλώνται στο σωματίδιο. Κάθε σωματίδιο (με τα προσκολλημένα σωματίδια υδρατμών) γίνεται μία μικρή σταγόνα μεγέθους από 1 μm έως 5 μm σε διάμετρο (το μέγεθος εξαρτάται από το μέγεθος του σωματιδίου στο κέντρο). Αλλά ακόμα το μέγεθος του δεν του δίνει το αναγκαίο βάρος να αρχίσει την πτώση του. Αν ένα σταγονίδιο έρθει σε επαφή με ένα άλλο το μεγαλύτερο σταγονίδιο θα «φάει» το μικρότερο και το καινούργιο σταγονίδιο θα συνεχίσει να αφομοιώνει τα υπόλοιπα σταγονίδια μέχρι να βαρύνει αρκετά και να αρχίσει τη πτώση του. Ένα σταγονίδιο θα γίνει σταγόνα όταν το μέγεθος του αποκτήσει ελάχιστη διάμετρο 0,5 mm.

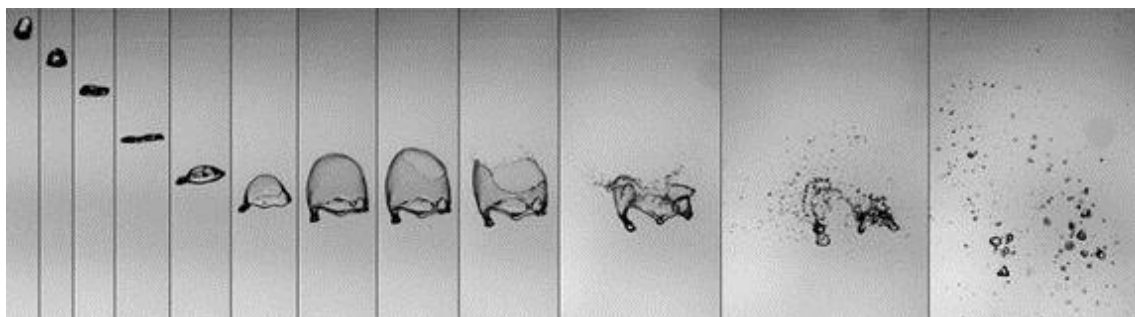
Πίνακας 2.1: Τυπικά μεγέθη σταγόνες

Τυπικά μεγέθη σταγόνες				
	Μέγεθος Σταγόνας		Τελική Ταχύτητα	
Είδος Βροχής	mm	in	m/sec	miles/hr
Ασθενής Βροχόπτωση				
Μικρή σταγόνα	.5	.02	2.06	4.6
Μεγάλη σταγόνα	2.0	.08	6.49	14.4
Μέτρια βροχόπτωση				
Μικρή σταγόνα	1.0	.04	4.03	8.9
Μεγάλη σταγόνα	2.6	.10	7.57	16.1
Ισχυρή Βροχόπτωση				
Μικρή σταγόνα	1.2	.05	4.64	10.3
Μεγάλη σταγόνα	4.0	.16	8.83	19.6
Μέγιστο Μέγεθος Σταγόνας	5.0	.20	9.09	20.2

Επίσης τίθεται το ερώτημα γιατί μια σταγόνα δε μπορεί να υπερβεί τα 5 mm. Η σταγόνα έχει δύο δυνάμεις που την επηρεάζουν, η επιφανειακή τάση του νερού και η αντίσταση αέρα κατά την πτώση της. Στο παρακάτω σχήμα μπορούμε να δούμε πως αλλάζει το σχήμα της η σταγόνα ανάλογα με το μέγεθος της. Αν δούμε στα 4,5 mm η σταγόνα αρχίζει και παίρνει μια μορφή που μοιάζει με αλεξίπτωτο. Το αποτέλεσμα είναι στα 5 mm η σταγόνα κόβεται και δημιουργούνται 2 σταγόνες.



Εικόνα 2.9: Αλλαγή σχήματος σταγόνας ανάλογα με το μέγεθος της



Εικόνα 2.10: Θρυμματισμός σταγόνας 5 mm σε διάμετρο όπου πέφτει από το ίδιο της το βάρος. Ο συνολικός χρόνος του φαινομένου διαρκεί 60 ms

2.2.4 Μέθοδοι εκτίμησης απόσβεσης ηλεκτρομαγνητικού κύματος λόγω βροχόπτωσης

Για να εκτιμήσουμε την βροχόπτωση χρησιμοποιούμε το μοντέλο του Robert Crane ή από ITU-R P.530-13 (μέθοδος επίγειας πρόβλεψης). Να σημειωθεί ότι υπάρχει και το πρότυπο ITU-R P.618-12 που χρησιμοποιείται για πρόβλεψη βροχόπτωσης με κλίση αλλά δε θα μας απασχολήσει λόγω του χαμηλού υψόμετρου που πραγματοποιήθηκε το πείραμα και το είδος της ζεύξης (επίγεια ζεύξη).

Διαφορές μεταξύ των δύο μεθόδων εκτίμησης

Υπάρχουν διαφορές μεταξύ των δύο γνωστών μοντέλων, ITU επίγειας πρόβλεψης και του μοντέλου Crane. Τα μοντέλα Crane τείνουν να δείχνουν μεγαλύτερη εξασθένηση από το μοντέλο ITU και πιο συγκεκριμένα στη μακροπρόθεσμη μέση πιθανότητα εξασθένησης. Ο λόγος βρίσκεται στις ζώνες βροχόπτωσης οι οποίες ορίζονται με διαφορετικό γεωγραφικό τρόπο μεταξύ τους. Επίσης διαφοροποιείται η πολυπλοκότητα του κάθε μοντέλου (και υπομοντέλων του Crane).

Στο μοντέλο ITU που χρησιμοποιείται στην εξασθένηση σήματος από βροχόπτωση όπου το επίπεδο ξεπερνάει στατιστικά το 0,01%, χρειαζόμαστε την ενδιαφερόμενη ζώνη, τη συχνότητα, το μήκος διαδρομής και παράγοντες εξασθένησης από το πρότυπο ITU-R 838. Τα υπόλοιπα ποσοστά υπολογίζονται με απλές εξισώσεις και είναι γνωστές για την ευκολία χρήσης.

Το παγκόσμιο μοντέλο Crane απαιτεί την επίλυση 8 εξισώσεων για την εύρεση της μέσης βροχόπτωσης στην διαδρομή του σήματος μας.

Το μοντέλο Crane δύο συνιστωσών πρώτα υπολογίζει τον όγκο του σταγονιδίου από τον ρυθμό της βρόχοπτωσης και από τις ακαθαρσίες εντός της σταγόνας βασισμένη στο μήκος της διαδρομής. Χρειαζόμαστε περίπου 10 εξισώσεις.

Στο αναθεωρημένο μοντέλο Crane δύο συνιστώσεων χρειαζόμαστε συναρτήσεις χωρικής συσχέτισης και μια εξίσωση ολοκλήρωσης για τον υπολογισμό εξασθένησης από τις ακαθαρσίες των σταγονιδίων στην συγκεκριμένη διαδρομή.

Μέθοδος ITU-R P.530-13

Η εύρεση εξασθένησης μέσω της μεθόδου ITU μας δίνεται από την εξίσωση:

$$A_p = k \left[1.763 R^{0.753 + 0.197/L_s} \right]^a \frac{L_s}{1 + \frac{L_s \cos \theta}{119 R^{-0.244}}}$$

Όπου k και a είναι παραμέτροι πόλωσης και συχνότητας, L_s είναι η διαδρομή του σήματος και R είναι ο ρυθμός βρόχοπτωσης (σε mm/h).

Μέθοδος Crane

Στην μέθοδο Crane υποθέτουμε ότι οι σταγόνες είναι σφαιρικές και η διηλεκτρική σταθερά είναι ομοιογενής σε ολόκληρο τον όγκο της σφαίρας. Οι σταγόνες είναι κατανομημένες τυχαία σε έναν όγκο σύμφωνα με τους κανόνες του Poisson και η κατανομή πτώσης είναι γνωστή. Η μέση τιμή και ποικιλία (για λόγους δειγματοσμού) μπορούν υπολογιστούν ως προς την κατανομή πτώσης:

$$F = \int_{a_0}^{a_m} v(a) \left[\frac{f(a)}{U(a)} \right] da$$

$$\bar{F} = \int_{a_0}^{a_m} \overline{v(a)} \left[\frac{f(a)}{U(a)} \right] da$$

$$\sigma_F^2 = \int_{a_0}^{a_m} \overline{v(a)} \left[\frac{f(a)}{U(a)} \right]^2 da$$

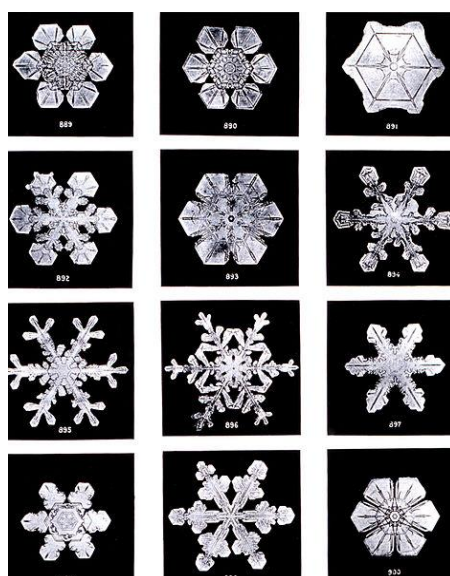
Όπου F είναι η δειγματοληπτική παράμετρος, π.χ. για μια συγκεκριμένη εξασθένηση A , ή ρυθμός βροχοπτώσης R , $\bar{F}$ είναι η μέση τιμή (υπολογισμένη), σ_F^2 είναι η διακύμανση (υπολογισμένη), a η ακτίνα βροχοπτώσης, $f(a)$ η εξάρτηση των παραμέτρων ως προς το μέγεθος της σταγόνας και $U(a)$ ο όγκος του χώρου όπου απασχολούν σταγόνες μεγέθους

2.3 Χιόνι

Το χιόνι δημιουργείται επάνω ανάμεσα ή κάτω από τα στρώματα των νεφών, ανάλογα του μεγέθους και της θερμοκρασίας των νεφών, λόγω της συμπύκνωσης των υδρατμών σε χαμηλότερη θερμοκρασία από το σημείο πήξεως με χαμηλό ρυθμό. Το αποτέλεσμα μας είναι πάγος σε κρυσταλλική μορφή, που συνδέονται με τέτοιο τρόπο όπου έχουμε τις λευκές και ελαφρές χιονονιφάδες.

Οι νιφάδες του χιονιού είναι συνήθως διαφανή με στυλινές έδρες σώματα που αντανακλούν το φως και έχουν οπτική παρουσίαση ως λευκή μάζα. Το μέγεθος των κρυστάλλων είναι 0.25 - 13 χιλιοστά (mm) και πέφτουν ως νιφάδες που σχηματίζονται σε θερμοκρασία εδάφους 0 °C (32 °F) ή χαμηλότερη. Τα ψυχρά νέφη δεν έχουν κατά τη πλειοψηφία τους υγρασία σε αντίθεση με τα θερμότερα νέφη (που βρίσκονται σε χαμηλότερο υψόμετρο) που περιέχουν περισσότερη υγρασία και δημιουργούν μεγαλύτερες κρυσταλλικές νιφάδες.

Για πολλούς τοπογραφικούς και μετεωρολογικούς λόγους οι χιονοπτώσεις ποικίλλουν σημαντικά στις κορυφές των βουνών ακόμα και αν είναι στον ίδιο παράλληλο. Τα όρια του «διαρκούς χιονιού», στις κορυφές, είναι από 300μ. υψόμετρο σε γεωγραφικό πλάτος 70°, 1.500μ. σε 60°, 2.100μ σε 50°, 3.000μ σε 40°, 3.900μ. σε 30°, 4.500 σε 20° και 5.100μ. στον Ισημερινό. Να σημειωθεί επίσης ότι επειδή το χιόνι αποτελείται από παγωμένο νερό, μπορεί να χαρακτηριστεί ως ορυκτό.



Εικόνα 2.11: Φωτογραφίες διαφόρων νιφάδων χιονιού από τον Wilson A. Bentley

2.4 Χαλάζι

Ο σχηματισμός του εμφανίζεται όταν η υγρασία της ατμόσφαιρας συμπυκνώνεται σε κάποιο σωματίδιο όπως η βροχή αλλά η θερμοκρασία βρίσκεται κάτω από τους 0° Κελσίου (32 Fahrenheit). Το μέγεθος του μπορεί να είναι από μερικά χιλιοστά μέχρι και αρκετά εκατοστά (όπου σε αυτό το μέγεθος θεωρείται επικίνδυνο). Η τεράστια ποικιλία στο μέγεθος έχει να κάνει με τη λανθάνουσα θερμότητα που απελευθερώνεται από την στερεοποίηση του νερού όπου λιώνει το εξωτερικό περίβλημα και έχει ως αποτέλεσμα να συνενώνονται δύο ή παραπάνω σωματίδια. Το σχήμα εξαρτάται από την κίνηση τους μέσα στα σύννεφα πριν αρχίσουν την πτώση τους. Συνήθως το σχήμα τους είναι σφαιρικό ή ελλειπτικό.



Εικόνα 2.12 Προειδοποιητικό σημάδι για πιθανή χαλαζόπτωση είναι συχνά ένα αλλόκοτο και χαρακτηριστικό πράσινο χρώμα που παίρνουν τα σύννεφα.



Εικόνα 2.13: Χαλαζόκοκκος-τέρας με αγκαθωτές προεξοχές, διαμέτρου 13,5 εκατοστών, που έπεσε στο Harper του [Κάνσας](#), στις 14 Μαΐου 2004.

3. ΥΠΟΒΡΥΧΙΕΣ ΖΕΥΞΕΙΣ

3.1 Ιδιότητες νερού και αέρα ως μέσα Η/Μ κυμάτων

Η διάδοση Ηλεκτρομαγνητικού Κύματος με μέσο το νερό αλλάζει ριζικά από το προκαθορισμένο μας μέσο που είναι ο αέρας. Οι βασικές αλλαγές που πρέπει να αξιολογηθούν είναι η αγωγιμότητα του νερού και η διηλεκτρική σταθερά. Επίσης η κεραία πρέπει να σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να αντέχει και να μπορεί να λειτουργήσει υποβρύχια.

Αν συγκρίνουμε την αγωγιμότητα του αέρα με το νερό βλέπουμε τεράστιες διαφορές. Ο αέρας έχει μια αγωγιμότητα από $3 \cdot 10^{-15}$ Sm/m έως $8 \cdot 10^{-15}$ Sm/m (ανάλογα με την υγρασία του αέρα) ενώ η αγωγιμότητα του νερού κυμαίνεται από $5,5 \cdot 10^{-6}$ Sm/m (για απιονισμένο νερό) μέχρι τα 4 Sm/m (για νερό της θάλασσας). Το πόσιμο νερό κυμαίνεται από $5 \cdot 10^{-3}$ μέχρι $5 \cdot 10^{-2}$ Sm/m.

Η διηλεκτρική σταθερά του νερού κυμαίνεται από 55,720 F/m έως 87,74 F/m και εξαρτάται από το ποσοστό αλατιού εντός του νερού και επίσης από την θερμοκρασία του.

3.2 Απώλεια διαδρομής

Η διάδοση Η/Μ κύματος εξαρτάται από την απώλεια διαδρομής υποβρύχια. Η απώλεια διαδρομής εκπροσωπεί τη διαφορά μεταξύ την ισχύ του σήματος μετάδοσης και την ισχύ του σήματος λήψης. Ο υπολογισμός του σήματος λήψης ως προς το σήμα μετάδοσης, απώλεια διαδρομής και κέρδος κεραίας μπορεί να πραγματοποιηθεί από την εξίσωση του Friis:

$$P_r \text{ (dBm)} = P_t \text{ (dBm)} + G_t \text{ (dBm)} + G_r \text{ (dB)} - L_{\text{pathloss}} \text{ (dB)}$$

Όπου P_t είναι η ισχύς μετάδοσης, G_r και G_t είναι τα κέρδη του δέκτη και πομπού, L_{pathloss} είναι η απώλεια διαδρομής με μέσο το νερό. Η απώλεια διαδρομής μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση:

$$L_{\text{(pathloss)}} \text{ (dB)} = L_0 \text{ (dB)} + L_w \text{ (dB)} + L_{\text{att}} \text{ (dB)}$$

Όπου L_0 είναι η απώλεια διαδρομής στο κενό (ατμοσφαιρικό αέρα) και ισούται με:

$$L_0 \text{ (dB)} = 20 \log \left(\frac{4\pi df}{c} \right)$$

Όπου d είναι η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη σε μέτρα, f η συχνότητα λειτουργίας σε Hertz και c η ταχύτητα του φωτός με μέσο το κενό σε μέτρα ανα second.

L_w (dB) είναι η απώλεια διαδρομής λόγω της αλλαγής του μέσου και υπολογίζεται από:

$$L_w \text{ (dB)} = 20 \log \left(\frac{\lambda_0}{\lambda} \right)$$

Όπου λ_0 είναι το μήκος κύματος με μέσο το κενό όπου υπολογίζεται από την εξίσωση $\lambda_0 = c/f$ και λ είναι ο συντελεστής κύματος που δίνεται από την εξίσωση $\lambda = 2\pi/\beta$, όπου β θέτουμε τη σταθερά αλλαγής φάσης και υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\beta = \omega \sqrt{\frac{\mu * \varepsilon'}{2} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}\right)^2} + 1 \right)}$$

Όπου ε' και ε'' είναι το πραγματικό και φανταστικό κομμάτι της μιγαδικής διηλεκτρικής σταθεράς που δίνεται από ($\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon''$).

Για $L_{att}(dB)$ έχουμε απώλεια διαδρομής λόγω της απόσβεσης του μέσου όπου υπολογίζεται από

$$L_{att}(dB) = 10 \log(e^{-\alpha d})$$

Όπου α είναι η σταθερά απόσβεσης και ισούται με:

$$\alpha = \omega \sqrt{\frac{\mu \cdot \varepsilon'}{2} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}\right)^2} - 1 \right)}$$

3.3 Ανακλάσεις από τις διεπαφές του νερού

Η ανάκλαση από την επιφάνεια και από το βυθό εξαρτάται από το συντελεστή ανάκλασης και από τις δύο διεπαφές μεταξύ του νερού και αέρα και νερού και βυθού. Η μαθηματική εξίσωση δίνεται από τον τύπο:

$$\Gamma = \frac{\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1}{\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1}$$

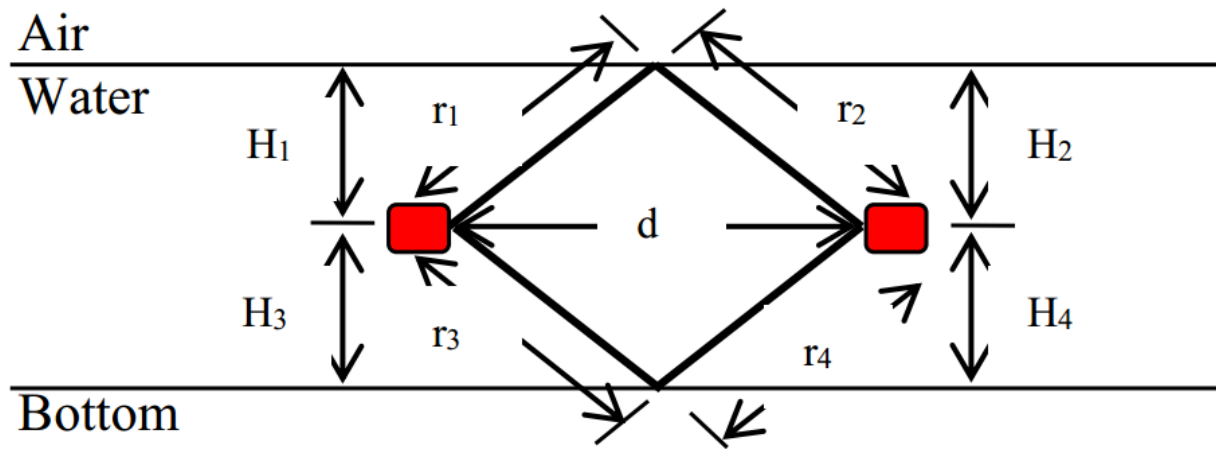
Όπου ρ_1 και ρ_2 είναι η πυκνότητα του πρώτου και δεύτερου μέσου αντίστοιχα και v_1 και v_2 η κυματική ταχύτητα του φωτός σε κάθε μέσο αντίστοιχα.

Η απώλεια ανακλάσεων από την επιφάνεια του νερού και στο βυθό δίνεται από την εξίσωση:

$$L_r = -V(dB) = -10 \log(V)$$

$$V^2 = 1 + (|\Gamma| e^{-\alpha \Delta(r)})^2 - 2|\Gamma| e^{-\alpha \Delta(r)} \cos\left(\pi - \left(\varphi - \frac{2\pi}{\lambda} \Delta(r)\right)\right)$$

Στο επόμενο σχήμα βλέπουμε μοντέλο καναλιού 3 διαύλων που συμπεριλαμβάνει την ανάκλαση και από τις δύο διεπαφές αέρα-νερού και βυθός-νερού.



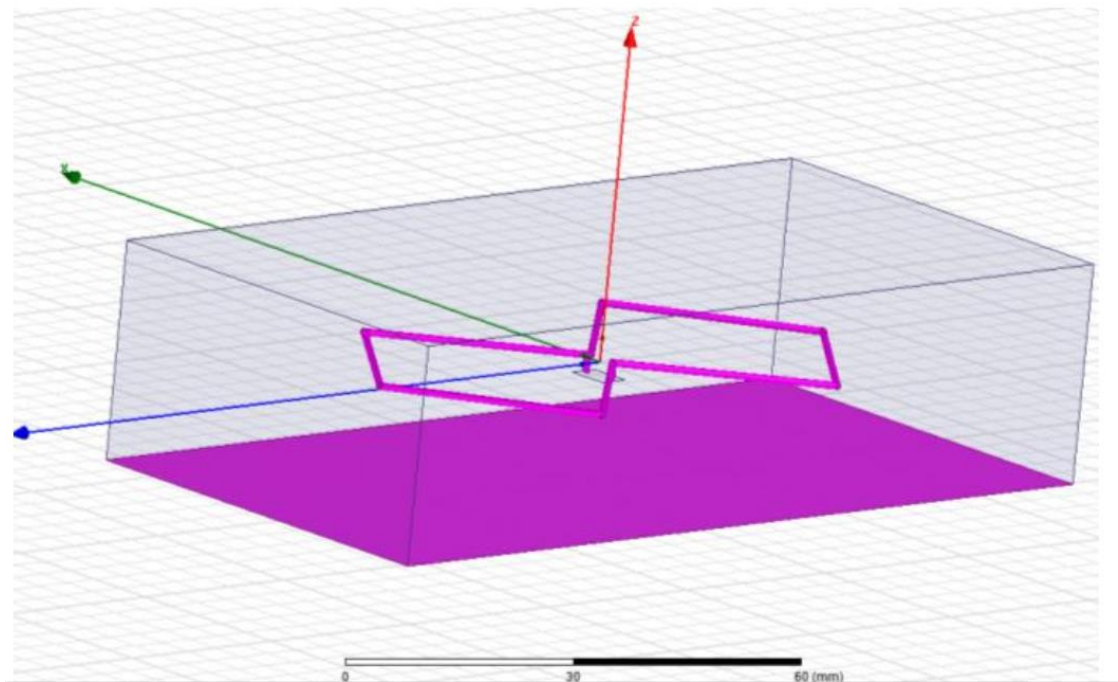
Εικόνα 3.1: Μοντέλο καναλιού τριών διαύλων.

4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΕΡΑΙΑΣ ΓΙΑ ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΖΕΥΞΕΙΣ

Η επιλογή του σχήματος της κεραίας (παπιγιόν) έγινε για το σχήμα και μέγεθος διότι αντέχει στις μηχανικές καταπονήσεις σε περιβάλλον όπου υπάρχουν αυξημένες κυματικές δυνάμεις (αέρας ή υδάτινα κύματα). Αυτό οφείλεται στην ομοιομορφία του σχήματος.

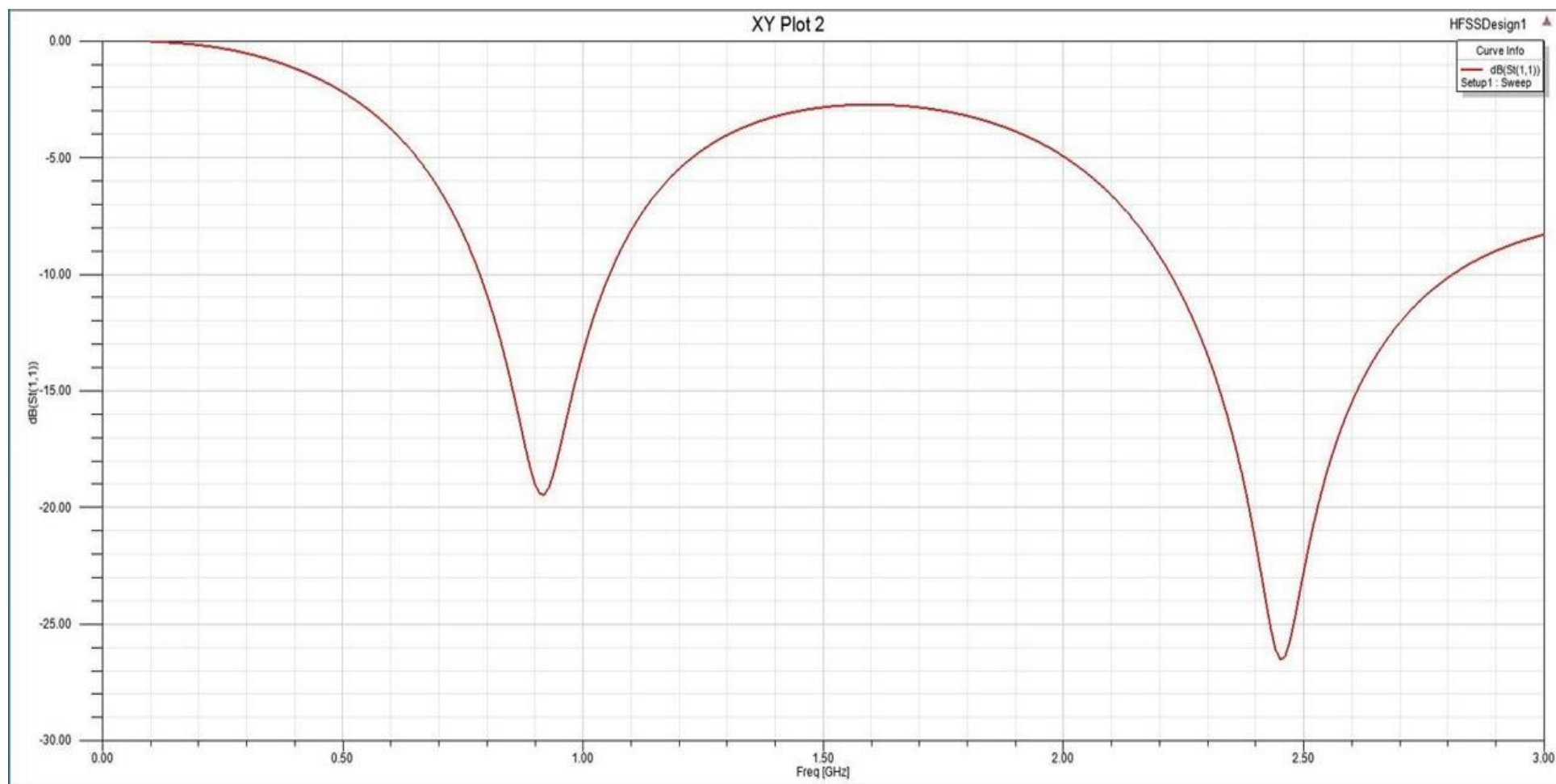
4.1 Σχεδίαση και εξομοίωση κεραίας

Με τη χρήση του προγράμματος HFSS, σχεδιάσαμε την κεραία και την εναποθέσαμε σε νερό.



Εικόνα 4.1: Σχεδιασμός κεραίας εντός μέσου στο πρόγραμμα HFSS.

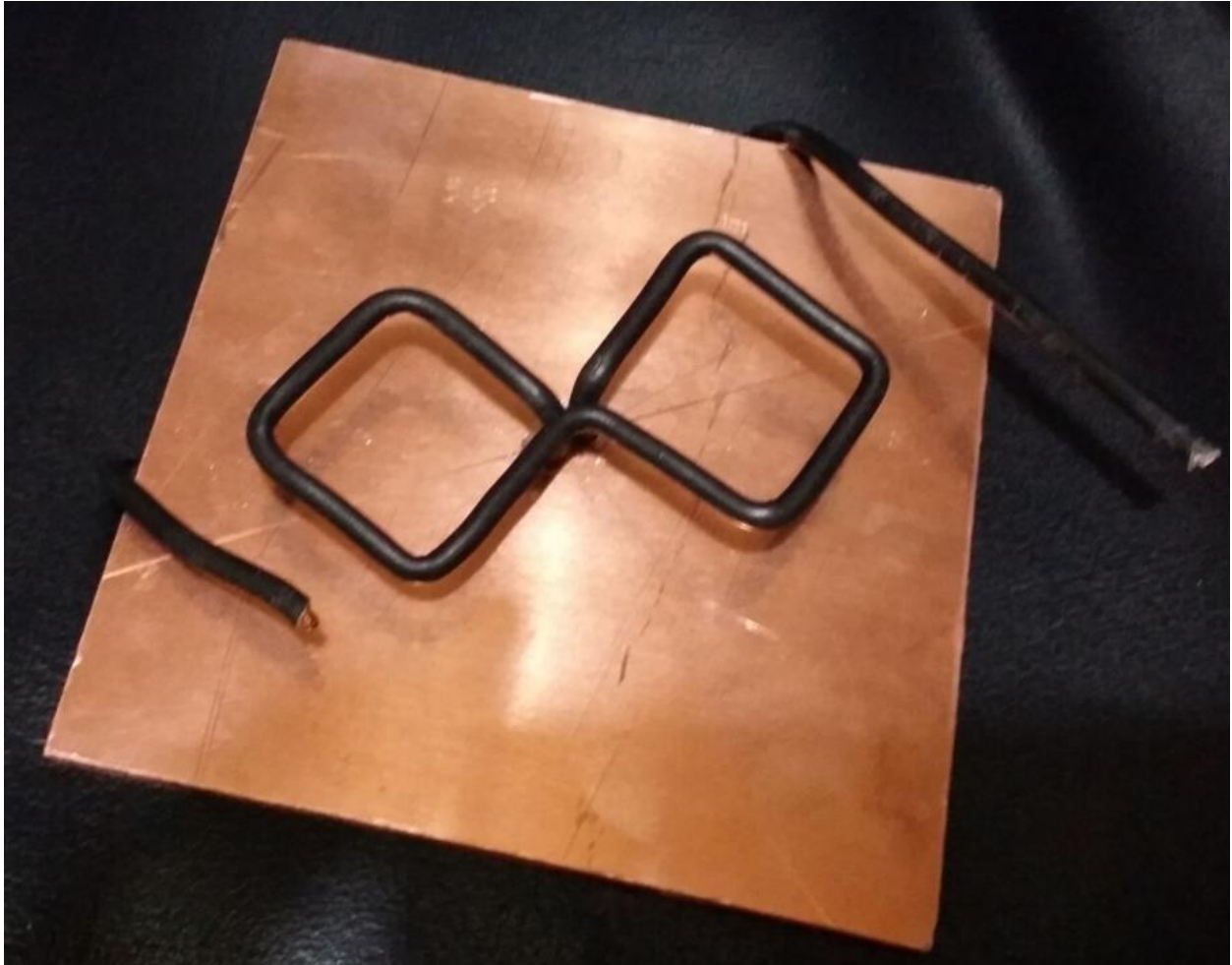
Στη συνέχεια κάναμε εξομοίωση της κεραίας για να βρούμε τις συχνότητες συντονισμού με μέσο το γλυκό νερό.



Σχήμα 4.1: Αποτελέσματα υποβρύχιας εξομοίωσης

4.2 Κατασκευή κεραίας σχήματος πατιγιόν

Για την κατασκευή της συγκεκριμένης κεραίας χρησιμοποιήθηκε μονόκλωνο καλώδιο διατομής 4 mm, μια πλάκα πάχους 2 mm, σύνδεσμος θηλυκού SMA και καλώδιο κεραίας για μικροκυματικές ζεύξεις (RP-SMA). Ο λόγος επιλογής του μονοκλωνού καλωδίου που θα είχε τη χρήση κεραίας βρίσκεται στο χαμηλό κόστος, στην ιδιότητα του μονόκλωνου καλωδίου να συγκρατεί το σχήμα που του δώθηκε και επίσης τη δυνατότητα μετρήσεων με τη μόνωση και χωρίς τη μόνωση του καλωδίου. Αφού πραγματοποιήθηκε η συνδεσμολογία έγινε εναπόθεση σιλικόνης σε όλη την επιφάνεια πίσω από την κεραία για να έχει τη δυνατότητα υποβρύχιας χρήσης.



Εικόνα 4.2: Τοποθέτηση της κεραίας πάνω στην πλάκα χαλκού με τα δύο άκρα να φαίνονται πριν συνδεθούν με το καλώδιο κεραίας.



Εικόνα 4.3: Η κεραία με τη μόνωση του καλωδίου αμέσως μετά τις υποβρυχίες μετρήσεις με μόνωση.



Εικόνα 4.4: Η κεραία χωρίς μόνωση του καλωδίου μετά τις υποβρυχίες μετρήσεις χωρίς μόνωση.



Εικόνα 4.5: Η κεραία χωρίς τη μόνωση κατά τη διάρκεια υποβρύχιων μετρήσεων.

5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Στο παρόν κεφάλαιο θα δωθούν οι διαδικασίες και τιμές από δύο πειράματα που πραγματοποιήθηκαν. Το πρώτο είναι ένα δίκτυο ασύρματης ζεύξης με μέσο τον ατμοσφαιρικό αέρα και πως επηρεάστηκε το σήμα από τις καιρικές αλλαγές για απόσταση των 10 μέτρων. Το δεύτερο πείραμα βασίστηκε σε διαφορετικό εξοπλισμό όπου είχαμε τη δυνατότητα να πάρουμε ατμοσφαιρικές και υποβρύχιες μετρήσεις σε απόσταση από 5 cm έως 70 cm.

5.1 Διαδικασία Πειράματος και τιμές με μέσο τον ατμοσφαιρικό αέρα

Για να πραγματοποιηθεί το πείραμα δημιουργήθηκε ένα δίκτυο ασύρματης ζεύξης του οποίου η απόσταση μεταξύ των δύο σημείων σύνδεσης βρισκόταν στα 10 μέτρα, σε ύψος περίπου στα 9 μέτρα στο κενό με LOS (Line of Sight). Οι ημέρες καταγραφής επιλέχθηκαν για τις διαφορετικές καιρικές συνθήκες που υπήρχανε. (Ομίχλη, Βροχή χιονόπτωση). Στο πείραμα καταγράφηκε η αλλαγή του σήματος Wi-Fi σε dBm ανά λεπτό και αντιστοιχήθηκε με τιμές που δοθήκανε από τον μετεωρολογικό σταθμό Πεντέλης μέσω του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών με χρονικό βήμα του ενός λεπτού. Το υψόμετρο στο οποίο διεξάχθηκε το πείραμα και του συγκεκριμένου σταθμού είναι παρόμοιες. Στους πίνακες της κάθε μέρας δίνεται η ώρα μέτρησης, θερμοκρασία αέρα, σχετική υγρασία, χιλιοστά βροχόπτωσης και δύναμη σήματος του δικτύου. Ο δρομολογητής που χρησιμοποιήθηκε ως Access Point ήταν ένα Thompson TG565 v7 με chipset BCM4318 της Broadcom. Η ταμπλέτα που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή του σήματος και τις αλλαγές είχε embedded WiFi σε πλακέτα RK2918.

23 Ιανουαρίου 2016

Πίνακας 5.3: Καιρικά δεδομένα και δύναμη σήματος για τις 30 Ιανουαρίου 2016

ΩΡΑ	ΘΕΡΜ ΟΚΡΑ ΣΙΑ C	ΣΧ. ΥΓΡΑ ΣΙΑ	ΒΡΩΧ ΟΠΤΩ ΣΗ (mm)	ΣΗΜΑ (dBm)	ΩΡΑ	ΘΕΡΜΟ ΚΡΑΣΙΑ C	ΣΧ. ΥΓΡ ΑΣΙΑ	ΒΡΩΧ ΟΠΤΩΣ Η (mm)	ΣΗΜΑ (dBm)
16:20	-0.8	89	0.0	-58	16:33	-0.8	88	0.0	-53
16:21	-0.8	89	0.0	-56	16:34	-0.8	88	0.0	-53
16:22	-0.8	88	0.0	-58	16:35	-0.8	88	0.0	-53
16:23	-0.8	88	0.0	-60	16:36	-0.8	88	0.0	-53
16:24	-0.8	88	0.0	-51	16:37	-0.9	88	0.0	-54
16:25	-0.8	88	0.0	-52	16:38	-0.9	88	0.0	-53
16:26	-0.8	88	0.0	-53	16:39	-1.0	88	0.0	-55
16:27	-0.7	88	0.0	-53	16:40	-1.0	89	0.0	-54
16:28	-0.8	88	0.0	-53	16:41	-1.0	89	0.0	-53
16:29	-0.8	87	0.0	-52	16:42	-1.0	89	0.0	-56
16:30	-0.8	88	0.0	-53	16:43	-1.0	88	0.0	-55
16:31	-0.8	88	0.0	-52	16:44	-1.0	88	0.0	-53
16:32	-0.8	88	0.0	-53	16:45	-0.9	88	0.0	-53

ΩΡΑ	ΘΕΡΜΟ ΚΡΑΣΙΑ C	ΣΧ. ΥΓΡΑΣΙΑ	ΒΡΩΧ ΟΠΤΩ ΣΗ (mm)	ΣΗΜΑ (dBm)	ΩΡΑ	ΘΕΡΜΟ ΚΡΑΣΙΑ C	ΣΧ. ΥΓΡΑΣΙΑ	ΒΡΩΧΟ ΠΤΩΣΗ (mm)	ΣΗΜΑ (dBm)
16:47	-0.9	88	0.0	-53	17:19	-0.8	87	0.0	-54
16:48	-0.8	88	0.0	-53	17:20	-0.8	87	0.0	-60
16:49	-0.8	88	0.0	-58	17:21	-0.8	87	0.0	-57
16:50	-0.8	88	0.0	-52	17:22	-0.9	87	0.0	-58
16:51	-0.8	88	0.0	-53	17:23	-0.9	87	0.0	-58
16:52	-0.8	88	0.0	-54	17:24	-0.9	87	0.0	-59
16:53	-0.7	87	0.0	-56	17:25	-0.9	87	0.0	-59
16:54	-0.7	87	0.0	-59	17:26	-0.9	87	0.0	-58
16:55	-0.7	87	0.0	-53	17:27	-0.9	87	0.0	-58
16:56	-0.8	87	0.0	-53	17:28	-0.8	87	0.0	-58
16:57	-0.8	87	0.0	-54	17:29	-0.9	87	0.0	-58
16:58	-0.8	87	0.0	-53	17:30	-0.9	87	0.0	-59
16:59	-0.8	87	0.0	-54	17:31	-0.9	87	0.0	-60
17:00	-0.8	87	0.0	-53	17:32	-0.9	87	0.0	-55
17:01	-0.8	87	0.0	-56	17:33	-0.9	87	0.0	-56
17:02	-0.8	87	0.0	-53	17:34	-0.9	86	0.0	-57
17:03	-0.8	87	0.0	-56	17:35	-0.9	86	0.0	-58
17:04	-0.8	87	0.0	-53	17:36	-0.9	86	0.0	-59
17:05	-0.8	87	0.0	-53	17:37	-0.9	87	0.0	-58
17:06	-0.8	86	0.0	-57	17:39	-1.0	87	0.0	-57
17:07	-0.8	86	0.0	-53	17:40	-1.0	87	0.0	-59
17:08	-0.8	86	0.0	-58	17:41	-1.0	87	0.0	-58
17:09	-0.8	86	0.0	-54	17:42	-1.0	87	0.0	-58
17:10	-0.8	86	0.0	-54	17:43	-1.0	87	0.0	-57
17:11	-0.8	86	0.0	-58	17:44	-1.0	87	0.0	-57
17:12	-0.8	86	0.0	-53	17:45	-1.0	87	0.0	-56
17:13	-0.8	86	0.0	-53	17:46	-1.0	87	0.0	-58
17:14	-0.8	86	0.0	-58	17:47	-1.0	87	0.0	-58
17:15	-0.8	86	0.0	-54	17:48	-1.0	87	0.0	-59
17:16	-0.8	87	0.0	-54	17:49	-1.0	87	0.0	-57
17:17	-0.8	87	0.0	-54	17:50	-1.0	87	0.0	-58
17:18	-0.8	87	0.0	-54	17:51	-1.0	88	0.0	-57

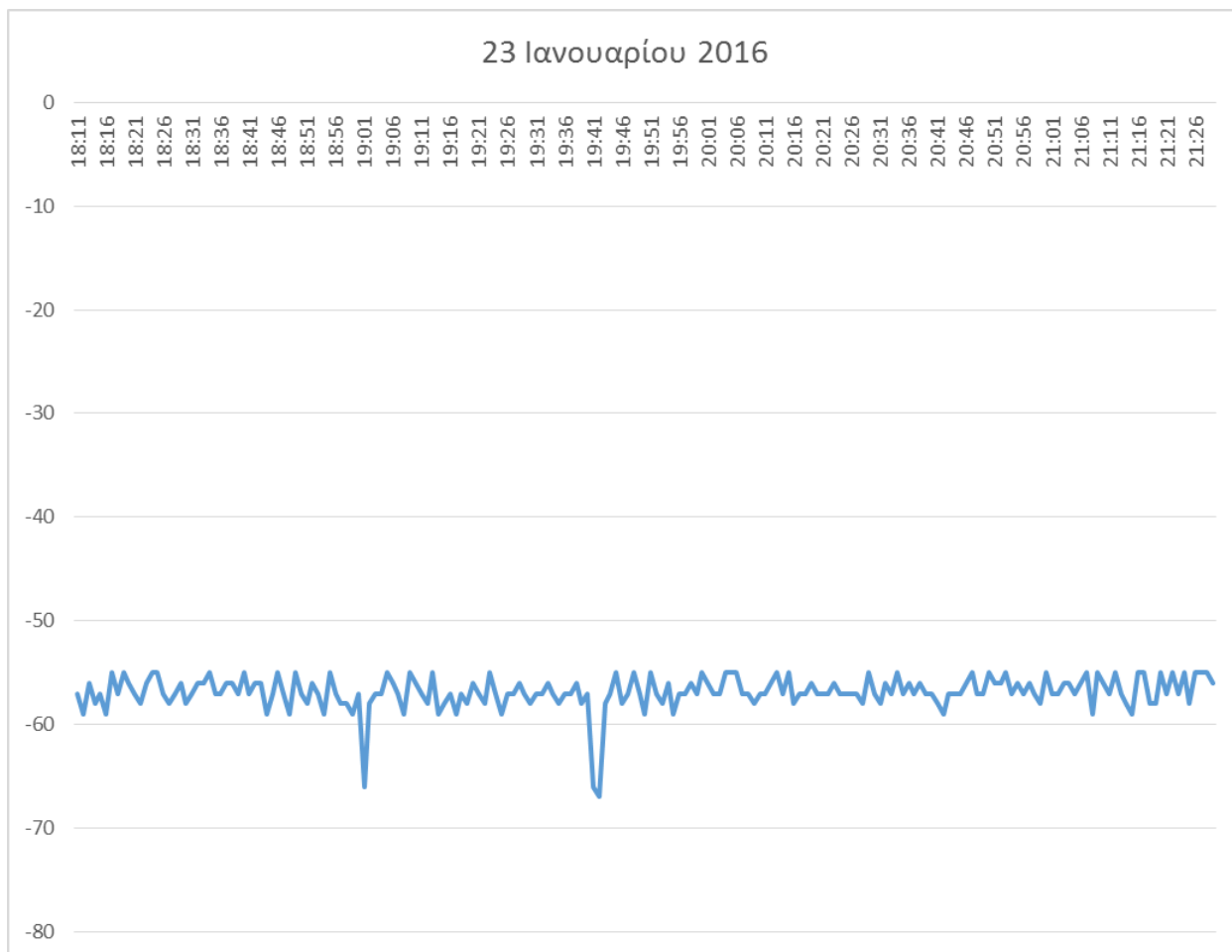
ΩΡΑ	ΘΕΡΜΟ ΚΡΑΣΙΑ C	ΣΧ. ΥΓΡΑΣΙΑ	ΒΡΩΧ ΟΠΤΩ ΣΗ (mm)	ΣΗΜΑ (dBm)	ΩΡΑ	ΘΕΡΜΟ ΚΡΑΣΙΑ C	ΣΧ. ΥΓΡΑΣΙΑ	ΒΡΩΧΟ ΠΤΩΣΗ (mm)	ΣΗΜΑ (dBm)
17:52	-1.0	88	0.0	-59	18:22	-1.3	88	0.0	-58
17:53	-1.0	88	0.0	-58	18:23	-1.3	88	0.0	-56
17:54	-1.0	88	0.0	-58	18:24	-1.3	89	0.0	-55
17:55	-1.1	88	0.0	-59	18:25	-1.3	89	0.0	-55
17:56	-1.1	88	0.0	-57	18:26	-1.3	89	0.0	-57
17:57	-1.1	88	0.0	-58	18:27	-1.3	89	0.0	58
17:58	-1.1	88	0.0	-57	18:28	-1.4	89	0.0	-57
17:59	-1.1	88	0.0	-59	18:29	-1.4	89	0.0	-56
18:00	-1.1	88	0.0	-57	18:30	-1.4	89	0.0	-58
18:01	-1.1	89	0.0	-58	18:31	-1.4	89	0.0	-57
18:02	-1.1	89	0.0	-56	18:32	-1.4	89	0.0	-56
18:03	-1.1	89	0.0	-55	18:33	-1.4	89	0.0	-56
18:04	-1.2	89	0.0	-57	18:34	-1.4	89	0.0	-55
18:05	-1.2	89	0.0	-57	18:35	-1.4	89	0.0	-57
18:06	-1.2	89	0.0	-56	18:36	-1.4	89	0.0	-57
18:07	-1.2	89	0.0	-55	18:37	-1.4	89	0.0	-56
18:08	-1.2	89	0.0	-57	18:38	-1.4	89	0.0	-56
18:09	-1.2	89	0.0	-58	18:39	-1.4	89	0.0	-57
18:11	-1.2	89	0.0	-57	18:40	-1.4	89	0.0	-55
18:12	-1.2	89	0.0	-59	18:41	-1.4	89	0.0	-57
18:13	-1.2	89	0.0	-56	18:42	-1.4	89	0.0	-56
18:14	-1.2	89	0.0	-58	18:43	-1.4	89	0.0	-56
18:15	-1.2	88	0.0	-57	18:44	-1.4	89	0.0	-59
18:16	-1.2	88	0.0	-59	18:45	-1.4	89	0.0	-57
18:17	-1.2	88	0.0	-55	18:46	-1.4	89	0.0	55
18:18	-1.2	88	0.0	-57	18:47	-1.4	89	0.0	-57
18:19	-1.2	88	0.0	-55	18:48	-1.3	89	0.0	-59
18:20	-1.2	88	0.0	-56	18:49	-1.3	89	0.0	-55
18:21	-1.3	88	0.0	-57	18:50	-1.3	89	0.0	-57

ΩΡΑ	ΘΕΡΜΟ ΚΡΑΣΙΑ C	ΣΧ. ΥΓΡ ΑΣΙΑ	ΒΡΩΧ ΟΠΤΩ ΣΗ (mm)	ΣΗΜΑ (dBm)	ΩΡΑ	ΘΕΡΜΟ ΚΡΑΣΙΑ C	ΣΧ. ΥΓΡ ΑΣΙΑ	ΒΡΩΧΟ ΠΤΩΣΗ (mm)	ΣΗΜΑ (dBm)
18:51	-1.3	89	0.0	-58	19:23	-1.1	88	0.0	-55
18:52	-1.3	89	0.0	-56	19:24	-1.1	88	0.0	-57
18:53	-1.3	89	0.0	-57	19:25	-1.1	88	0.0	-59
18:54	-1.2	89	0.0	-59	19:26	-1.1	87	0.0	-57
18:55	-1.2	88	0.0	-55	19:27	-1.1	87	0.0	-57
18:56	-1.2	88	0.0	-57	19:28	-1.1	87	0.0	-56
18:57	-1.2	88	0.0	-58	19:29	-1.1	87	0.0	-57
18:58	-1.2	88	0.0	-58	19:30	-1.1	87	0.0	-58
18:59	-1.2	88	0.0	-59	19:31	-1.1	87	0.0	-57
19:00	-1.2	88	0.0	-57	19:32	-1.1	87	0.0	-57
19:01	-1.1	88	0.0	-66	19:33	-1.1	87	0.0	-56
19:02	-1.1	88	0.0	-58	19:34	-1.1	87	0.0	-57
19:03	-1.1	88	0.0	-57	19:35	-1.1	87	0.0	-58
19:04	-1.1	88	0.0	-57	19:36	-1.0	87	0.0	-57
19:05	-1.1	88	0.0	-55	19:37	-1.0	87	0.0	-57
19:06	-1.1	88	0.0	-56	19:38	-1.0	87	0.0	-56
19:07	-1.1	88	0.0	-57	19:39	-1.0	87	0.0	-58
19:08	-1.1	88	0.0	-59	19:40	-1.0	87	0.0	-57
19:09	-1.1	88	0.0	-55	19:41	-1.0	87	0.0	-66
19:10	-1.1	88	0.0	-56	19:42	-1.0	87	0.0	-67
19:11	-1.1	88	0.0	-57	19:43	-1.0	87	0.0	-58
19:12	-1.1	88	0.0	-58	19:44	-1.0	87	0.0	-57
19:13	-1.1	88	0.0	-55	19:45	-1.0	87	0.0	-55
19:14	-1.1	88	0.0	-59	19:46	-1.0	87	0.0	-58
19:15	-1.1	88	0.0	-58	19:47	-1.0	87	0.0	-57
19:16	-1.1	88	0.0	-57	19:48	-1.0	87	0.0	-55
19:17	-1.1	88	0.0	-59	19:49	-1.0	87	0.0	-57
19:18	-1.1	88	0.0	-57	19:50	-1.0	87	0.0	-59
19:19	-1.1	88	0.0	-58	19:51	-1.0	87	0.0	-55
19:20	-1.1	88	0.0	-56	19:52	-1.0	87	0.0	-57
19:21	-1.1	88	0.0	-57	19:53	-1.0	87	0.0	-58
19:22	-1.1	88	0.0	-58	19:54	-1.0	87	0.0	-56

ΩΡΑ	ΘΕΡΜΟ ΚΡΑΣΙΑ C	ΣΧ. ΥΓΡ ΑΣΙΑ	ΒΡΩΧ ΟΠΤΩ ΣΗ (mm)	ΣΗΜΑ (dBm)	ΩΡΑ	ΘΕΡΜΟ ΚΡΑΣΙΑ C	ΣΧ. ΥΓΡ ΑΣΙΑ	ΒΡΩΧΟ ΠΤΩΣΗ (mm)	ΣΗΜΑ (dBm)
19:55	-1.0	87	0.0	-59	20:27	-0.9	86	0.0	-57
19:56	-1.0	87	0.0	-57	20:28	-0.9	86	0.0	-58
19:57	-1.0	87	0.0	-57	20:29	-0.9	85	0.0	-55
19:58	-1.0	87	0.0	-56	20:30	-0.9	85	0.0	-57
19:59	-1.0	87	0.0	-57	20:31	-0.8	85	0.0	-58
20:00	-1.0	87	0.0	-55	20:32	-0.8	85	0.0	-56
20:01	-1.0	87	0.0	-56	20:33	-0.8	85	0.0	-57
20:02	-1.0	87	0.0	-57	20:34	-0.8	85	0.0	-55
20:03	-1.0	87	0.0	-57	20:35	-0.8	85	0.0	-57
20:04	-1.0	87	0.0	-55	20:36	-0.8	85	0.0	-56
20:05	-1.0	87	0.0	-5	20:37	-0.8	85	0.0	-57
20:06	-1.0	87	0.0	-55	20:38	-0.8	85	0.0	-56
20:07	-1.0	87	0.0	-57	20:39	-0.8	85	0.0	-57
20:08	-1.0	87	0.0	-57	20:40	-0.7	85	0.0	-57
20:09	-0.9	87	0.0	-58	20:41	-0.7	85	0.0	-58
20:10	-0.9	87	0.0	-57	20:42	-0.7	85	0.0	-59
20:11	-0.9	87	0.0	-57	20:43	-0.7	85	0.0	-57
20:12	-0.9	86	0.0	-56	20:44	-0.7	85	0.0	-57
20:13	-0.9	86	0.0	-55	20:45	-0.7	85	0.0	-57
20:14	-0.9	86	0.0	-57	20:46	-0.7	85	0.0	-56
20:15	-0.9	86	0.0	-55	20:47	-0.7	85	0.0	-55
20:16	-0.9	86	0.0	-58	20:48	-0.7	85	0.0	-57
20:17	-0.9	86	0.0	-57	20:49	-0.7	85	0.0	-57
20:18	-0.9	86	0.0	-57	20:50	-0.7	85	0.0	-55
20:19	-0.9	86	0.0	-56	20:51	-0.7	85	0.0	-5
20:20	-0.9	86	0.0	-57	20:52	-0.7	85	0.0	-56
20:21	-0.9	86	0.0	-57	20:53	-0.7	85	0.0	-55
20:22	-0.9	86	0.0	-57	20:54	-0.7	85	0.0	-57
20:23	-1.0	86	0.0	-56	20:55	-0.7	85	0.0	-56
20:24	-1.0	86	0.0	-57	20:56	-0.7	85	0.0	-57
20:25	-1.0	86	0.0	-57	20:57	-0.7	85	0.0	-56
20:26	-1.0	86	0.0	-57	20:58	-0.7	85	0.0	-57

ΩΡΑ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ C	ΣΧ. ΥΓΡΑΣΙΑ	ΒΡΩΧΟΠΤΩΣΗ (mm)	ΣΗΜΑ (dBm)
20:59	-0.7	84	0.0	-58
21:00	-0.6	85	0.0	-55
21:01	-0.6	85	0.0	-57
21:02	-0.6	85	0.0	-57
21:03	-0.6	85	0.0	-56
21:04	-0.7	85	0.0	-56
21:05	-0.7	85	0.0	-57
21:06	-0.7	85	0.0	-56
21:07	-0.7	85	0.0	-55
21:08	-0.7	85	0.0	-59
21:09	-0.7	85	0.0	-55
21:10	-0.6	85	0.0	-56
21:11	-0.6	85	0.0	-57
21:12	-0.6	85	0.0	-55
21:13	-0.6	85	0.0	-57
21:14	-0.7	86	0.0	-58
21:15	-0.7	86	0.0	-59
21:16	-0.7	86	0.0	-55
21:17	-0.7	86	0.0	-55
21:18	-0.7	86	0.0	-58
21:19	-0.7	86	0.0	-58
21:20	-0.6	86	0.0	-55
21:21	-0.6	86	0.0	-57
21:22	-0.6	86	0.0	-55
21:23	-0.7	86	0.0	-57
21:24	-0.7	86	0.0	-55
21:25	-0.7	86	0.0	-58
21:26	-0.7	86	0.0	-55
21:27	-0.7	85	0.0	-55
21:28	-0.7	85	0.0	-55
21:29	-0.7	85	0.0	-56

Οι μετρήσεις στις 23 Ιανουαρίου είχαν καταγραφεί ενώ υπήρχε χιονόπτωση. Δυστυχώς δεν υπήρχε μέτρηση χιονιού σε όλα τα δεδομένα που δωθήκανε. Η παρακάτω γραφική παράσταση δείχνει την αλλαγή του σήματος ως προς το χρόνο με ελάχιστο σήμα -67 db/m στις 19:42.



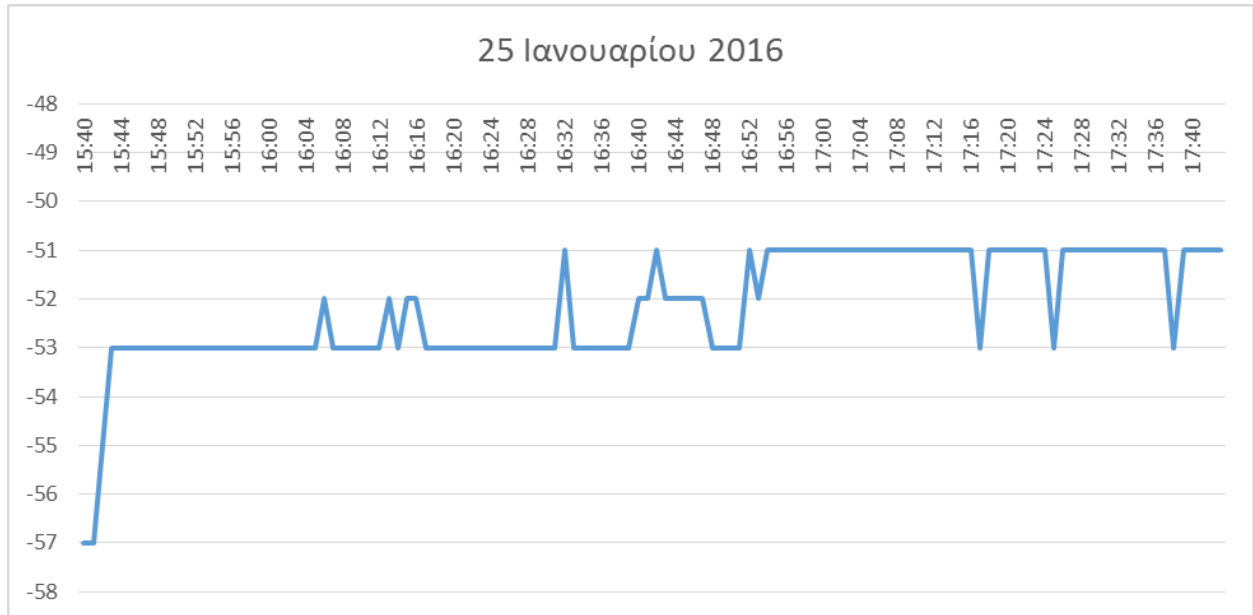
Σχήμα 5.1:Γραφική Παράσταση Μετρήσεων 23 Ιανουαρίου

25 Ιανουαρίου 2016**Πίνακας 5.3: Καιρικά δεδομένα και δύναμη σήματος για τις 30 Ιανουαρίου 2016**

ΩΡΑ	ΘΕΡΜΟ ΚΡΑΣΙΑ C	ΣΧ. ΥΓΡΑΣΙΑ	ΒΡΩΧΟ ΠΤΩΣΗ (mm)	ΣΗΜΑ (dBm)	ΩΡΑ	ΘΕΡΜΟ ΚΡΑΣΙΑ C	ΣΧ. ΥΓΡΑΣΙΑ	ΒΡΩΧΟ ΠΤΩΣΗ (mm)	ΣΗΜΑ (dBm)
15:40	3.4	76	0.0	-57	16:11	2.0	77	0.0	-53
15:41	3.4	76	0.0	-57	16:12	2.0	77	0.0	-53
15:42	3.4	75	0.0	-55	16:13	2.0	77	0.0	-52
15:43	3.4	75	0.0	-53	16:14	2.0	78	0.0	-53
15:44	3.4	75	0.0	-53	16:15	2.0	78	0.0	-52
15:45	3.4	75	0.0	-53	16:16	2.0	78	0.0	-52
15:46	3.4	74	0.0	-53	16:17	2.0	78	0.0	-53
15:47	3.4	74	0.0	-53	16:18	2.0	78	0.0	-53
15:48	3.4	74	0.0	-53	16:19	2.0	78	0.0	-53
15:49	3.3	74	0.0	-53	16:20	2.0	78	0.0	-53
15:50	3.3	74	0.0	-53	16:21	2.0	78	0.0	-53
15:51	3.2	75	0.0	-53	16:22	2.0	78	0.0	-53
15:52	3.1	75	0.0	-53	16:23	2.0	78	0.0	-53
15:53	3.0	75	0.0	-53	16:24	2.0	78	0.0	-53
15:54	3.0	76	0.0	-53	16:25	2.0	78	0.0	-53
15:55	2.9	76	0.0	-53	16:26	2.0	78	0.0	-53
15:56	2.8	76	0.0	-53	16:27	2.0	78	0.0	-53
15:57	2.7	76	0.0	-53	16:28	2.0	78	0.0	-53
15:58	2.6	76	0.0	-53	16:29	2.0	78	0.0	-53
15:59	2.5	77	0.0	-53	16:30	2.0	79	0.0	-53
16:00	2.4	77	0.0	-53	16:31	2.0	79	0.0	-53
16:01	2.4	77	0.0	-53	16:32	2.0	78	0.0	-51
16:02	2.3	77	0.0	-53	16:33	2.0	79	0.0	-53
16:03	2.2	78	0.0	-53	16:34	2.0	79	0.0	-53
16:04	2.2	78	0.0	-53	16:35	2.0	79	0.0	-53
16:05	2.2	78	0.0	-53	16:36	2.0	78	0.0	-53
16:06	2.1	78	0.0	-52	16:37	2.0	78	0.0	-53
16:07	2.1	78	0.0	-53	16:38	2.0	78	0.0	-53
16:08	2.1	78	0.0	-53	16:39	2.1	79	0.0	-53
16:09	2.1	78	0.0	-53	16:40	2.1	79	0.0	-52
16:10	2.1	78	0.0	-53	16:41	2.1	80	0.0	-52

ΩΡΑ	ΘΕΡΜΟ ΚΡΑΣΙΑ C	ΣΧ. ΥΓΡ ΑΣΙΑ	ΒΡΩΧΟ ΠΤΩΣΗ (mm)	ΣΗΜΑ (dBm)	ΩΡΑ	ΘΕΡΜΟ ΚΡΑΣΙΑ C	ΣΧ. ΥΓΡΑ ΣΙΑ	ΒΡΩΧΟ ΠΤΩΣΗ (mm)	ΣΗΜΑ (dBm)
16:42	2.1	79	0.0	-51	17:25	1.5	82	0.0	-53
16:43	2.1	79	0.0	-52	17:26	1.5	82	0.0	-51
16:44	2.1	78	0.0	-52	17:27	1.5	82	0.0	-51
16:45	2.1	78	0.0	-52	17:28	1.5	82	0.0	-51
16:46	2.1	78	0.0	-52	17:29	1.5	82	0.0	-51
16:47	2.1	79	0.0	-52	17:30	1.5	82	0.0	-51
16:48	2.1	79	0.0	-53	17:31	1.5	82	0.0	-51
16:49	2.1	78	0.0	-53	17:32	1.5	82	0.0	-51
16:50	2.1	78	0.0	-53	17:33	1.5	82	0.0	-51
16:51	2.1	78	0.0	-53	17:34	1.5	82	0.0	-51
16:52	2.1	79	0.0	-51	17:35	1.5	82	0.0	-51
16:53	2.1	79	0.0	-52	17:36	1.5	82	0.0	-51
16:54	2.1	80	0.0	-51	17:37	1.5	82	0.0	-51
16:55	2.0	80	0.0	-51	17:38	1.5	83	0.0	-53
16:56	2.0	80	0.0	-51	17:39	1.5	83	0.0	-51
16:57	2.0	80	0.0	-51	17:40	1.4	83	0.0	-51
16:58	2.0	80	0.0	-51	17:41	1.4	83	0.0	-51
16:59	2.0	80	0.0	-51	17:42	1.4	83	0.0	-51
17:00	1.9	80	0.0	-51	17:43	1.4	83	0.0	-51
17:01	1.9	80	0.0	-51					
17:02	1.9	80	0.0	-51					
17:03	1.9	80	0.0	-51					
17:04	1.8	80	0.0	-51					
17:05	1.8	80	0.0	-51					
17:06	1.8	80	0.0	-51					
17:07	1.8	80	0.0	-51					
17:08	1.8	80	0.0	-51					
17:09	1.8	80	0.0	-51					
17:10	1.7	81	0.0	-51					
17:11	1.7	81	0.0	-51					
17:12	1.7	81	0.0	-51					
17:13	1.7	81	0.0	-51					
17:14	1.7	81	0.0	-51					
17:15	1.7	81	0.0	-51					
17:16	1.7	81	0.0	-51					
17:17	1.6	81	0.0	-53					
17:18	1.6	81	0.0	-51					
17:19	1.6	82	0.0	-51					
17:20	1.6	82	0.0	-51					
17:21	1.6	82	0.0	-51					
17:22	1.6	82	0.0	-51					
17:23	1.6	82	0.0	-51					
17:24	1.5	82	0.0	-51					

Οι μετρήσεις στις 25 Ιανουαρίου είχαν καταγραφεί ενώ υπήρχε ηλιοφάνεια. Η παρακάτω γραφική παράσταση δείχνει την αλλαγή του σήματος ως προς το χρόνο με ελάχιστο σήμα -53 db/m στις 17:43. (Να σημειωθεί ότι η πρώτη μέτρηση είναι -57 ενώ όλες οι υπόλοιπες έχουν ελάχιστη τιμή -53)



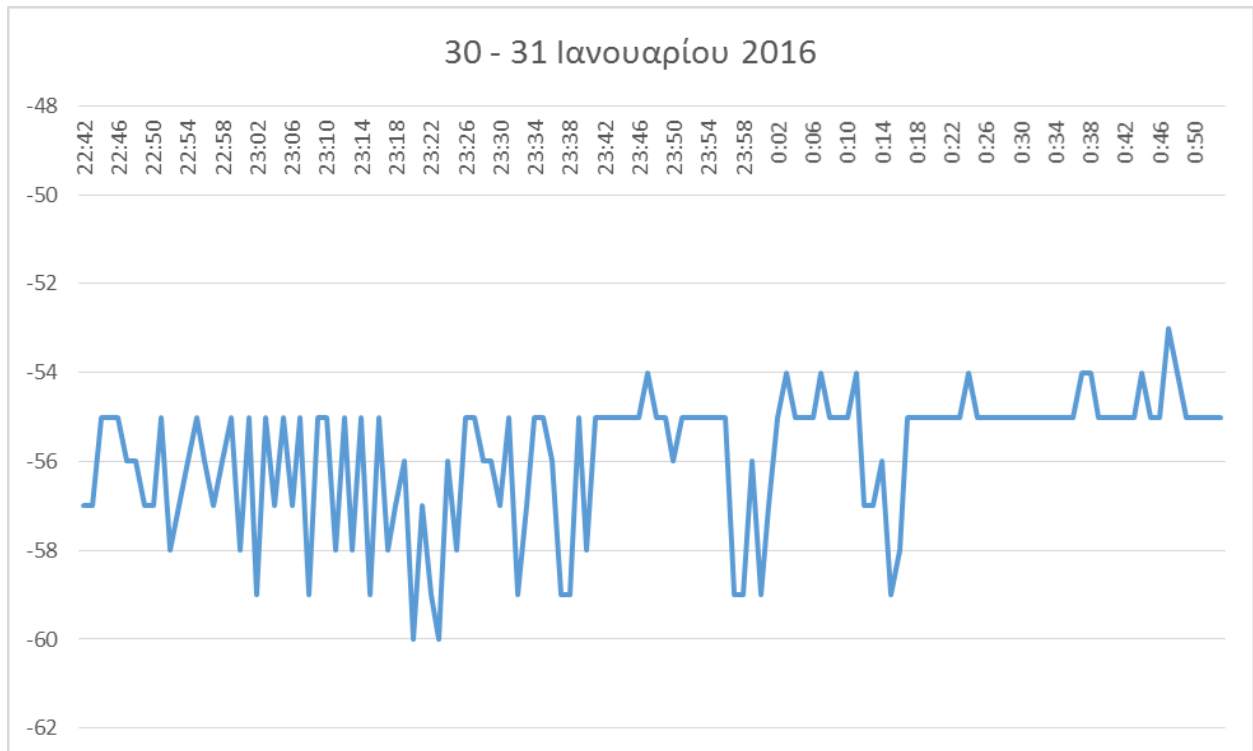
Σχήμα 5.2: Γραφική Παράσταση Μετρήσεων 25 Ιανουαρίου

30-31 Ιανουαρίου 2016**Πίνακας 5.3: Καιρικά δεδομένα και δύναμη σήματος για τις 30 και 31 Ιανουαρίου 2016**

ΩΡΑ	ΘΕΡΜΟ ΚΡΑΣΙΑ C	ΣΧ. ΥΓΡ ΑΣΙΑ	ΒΡΩΧΟ ΠΤΩΣΗ (mm)	ΣΗΜΑ (dBm)	ΩΡΑ	ΘΕΡΜΟ ΚΡΑΣΙΑ C	ΣΧ. ΥΓΡ ΑΣΙΑ	ΒΡΩΧΟ ΠΤΩΣΗ (mm)	ΣΗΜΑ (dBm)
22:42	9.7	74	0.0	-57	23:23	9.9	76	0.0	-60
22:43	9.7	74	0.0	-57	23:24	9.9	75	0.0	-56
22:44	9.7	74	0.0	-55	23:25	9.9	74	0.0	-58
22:45	9.7	74	0.0	-55	23:26	10.0	74	0.0	-55
22:46	9.8	74	0.0	-55	23:27	10.0	74	0.0	-55
22:47	9.8	74	0.0	-56	23:28	10.0	74	0.0	-56
22:48	9.8	74	0.0	-56	23:29	10.0	74	0.0	-56
22:49	9.7	74	0.0	-57	23:30	10.0	74	0.0	-57
22:50	9.7	74	0.0	-57	23:31	10.0	74	0.0	-55
22:51	9.7	74	0.0	-55	23:32	10.0	74	0.0	-59
22:52	9.7	74	0.0	-58	23:33	9.9	74	0.0	-57
22:53	9.7	74	0.0	-57	23:34	9.9	75	0.0	-55
22:54	9.7	74	0.0	-56	23:35	9.9	75	0.0	-55
22:55	9.7	74	0.0	-55	23:36	9.9	75	0.0	-56
22:56	9.8	74	0.0	-56	23:37	9.9	75	0.0	-59
22:57	9.8	74	0.0	-57	23:38	9.9	75	0.0	-59
22:58	9.9	74	0.0	-56	23:39	9.9	75	0.0	-55
22:59	9.9	74	0.0	-55	23:40	9.9	75	0.0	-58
23:00	10.0	73	0.0	-58	23:41	9.9	75	0.0	-55
23:01	10.1	73	0.0	-55	23:42	9.9	75	0.0	-55
23:02	10.1	73	0.0	-59	23:43	9.8	75	0.0	-55
23:03	10.1	73	0.0	-55	23:44	9.8	75	0.0	-55
23:04	10.2	73	0.0	-57	23:45	9.8	75	0.0	-55
23:05	10.1	73	0.0	-55	23:46	9.8	76	0.0	-55
23:06	10.1	74	0.0	-57	23:47	9.8	76	0.0	-54
23:07	10.1	74	0.0	-55	23:48	9.8	76	0.0	-55
23:08	10.1	74	0.0	-59	23:49	9.8	76	0.0	-55
23:09	10.1	74	0.0	-55	23:50	9.8	76	0.0	-56
23:10	10.1	74	0.0	-55	23:51	9.7	76	0.0	-55
23:11	10.1	74	0.0	-58	23:52	9.7	77	0.0	-55
23:12	10.0	74	0.0	-55	23:53	9.7	77	0.0	-55
23:13	10.0	74	0.0	-58	23:54	9.7	77	0.0	-55
23:14	10.0	74	0.0	-55	23:55	9.7	77	0.0	-55
23:15	10.0	74	0.0	-59	23:56	9.7	78	0.0	-55
23:16	10.0	74	0.0	-55	23:57	9.7	78	0.0	-59
23:17	10.0	74	0.0	-58	23:58	9.7	78	0.0	-59
23:18	10.0	74	0.0	-57	23:59	9.7	78	0.0	-56
23:19	10.0	75	0.0	-56	0:00	9.7	78	0.0	-59
23:20	10.0	75	0.0	-60	0:01	9.7	78	0.0	-57
23:21	10.0	75	0.0	-57	0:02	9.7	78	0.0	-55
23:22	10.0	75	0.0	-59	0:03	9.7	78	0.0	-54

ΩΡΑ	ΘΕΡΜΟ ΚΡΑΣΙΑ C	ΣΧ. ΥΓΡ ΑΣΙΑ	ΒΡΩΧΟ ΠΤΩΣΗ (mm)	ΣΗΜΑ (dBm)	ΩΡΑ	ΘΕΡΜ ΟΚΡΑ ΣΙΑ C	ΣΧ. ΥΓΡ ΑΣΙΑ	ΒΡΩΧΟ ΠΤΩΣΗ (mm)	ΣΗΜΑ (dBm)
0:04	9.7	78	0.0	-55	0:46	9.6	77	0.0	-55
0:05	9.7	78	0.0	-55	0:47	9.5	77	0.0	-53
0:06	9.6	78	0.0	-55	0:48	9.5	77	0.0	-54
0:07	9.6	78	0.0	-54	0:49	9.4	77	0.0	-55
0:08	9.6	78	0.0	-55	0:50	9.4	77	0.0	-55
0:09	9.6	78	0.0	-55	0:51	9.3	77	0.0	-55
0:10	9.6	78	0.0	-55	0:52	9.3	77	0.0	-55
0:11	9.6	78	0.0	-54	0:53	9.3	77	0.0	-55
0:12	9.6	78	0.0	-57					
0:13	9.6	78	0.0	-57					
0:14	9.6	78	0.0	-56					
0:15	9.6	78	0.0	-59					
0:16	9.6	78	0.0	-58					
0:17	9.5	78	0.0	-55					
0:18	9.5	78	0.0	-55					
0:19	9.5	78	0.0	-55					
0:20	9.5	78	0.0	-55					
0:21	9.5	78	0.0	-55					
0:22	9.5	78	0.0	-55					
0:23	9.5	78	0.0	-55					
0:24	9.4	78	0.0	-54					
0:25	9.4	78	0.0	-55					
0:26	9.4	79	0.0	-55					
0:27	9.4	79	0.0	-55					
0:28	9.4	79	0.0	-55					
0:29	9.4	79	0.0	-55					
0:30	9.4	79	0.0	-55					
0:31	9.4	79	0.0	-55					
0:32	9.4	79	0.0	-55					
0:33	9.4	79	0.0	-55					
0:34	9.4	78	0.0	-55					
0:35	9.4	78	0.0	-55					
0:36	9.4	78	0.0	-55					
0:37	9.4	78	0.0	-54					
0:38	9.5	77	0.0	-54					
0:39	9.5	77	0.0	-55					
0:40	9.5	77	0.0	-55					
0:41	9.6	77	0.0	-55					
0:42	9.6	77	0.0	-55					
0:43	9.6	77	0.0	-55					
0:44	9.6	77	0.0	-54					
0:45	9.6	77	0.0	-55					

Οι μετρήσεις για τις ημέρες 30 και 31 Ιανουαρίου είχαν καταγραφεί ενώ υπήρχε ομίχλη. Η παρακάτω γραφική παράσταση δείχνει την αλλαγή του σήματος ως προς το χρόνο με ελάχιστο σήμα -60 db/m στις 00:50.



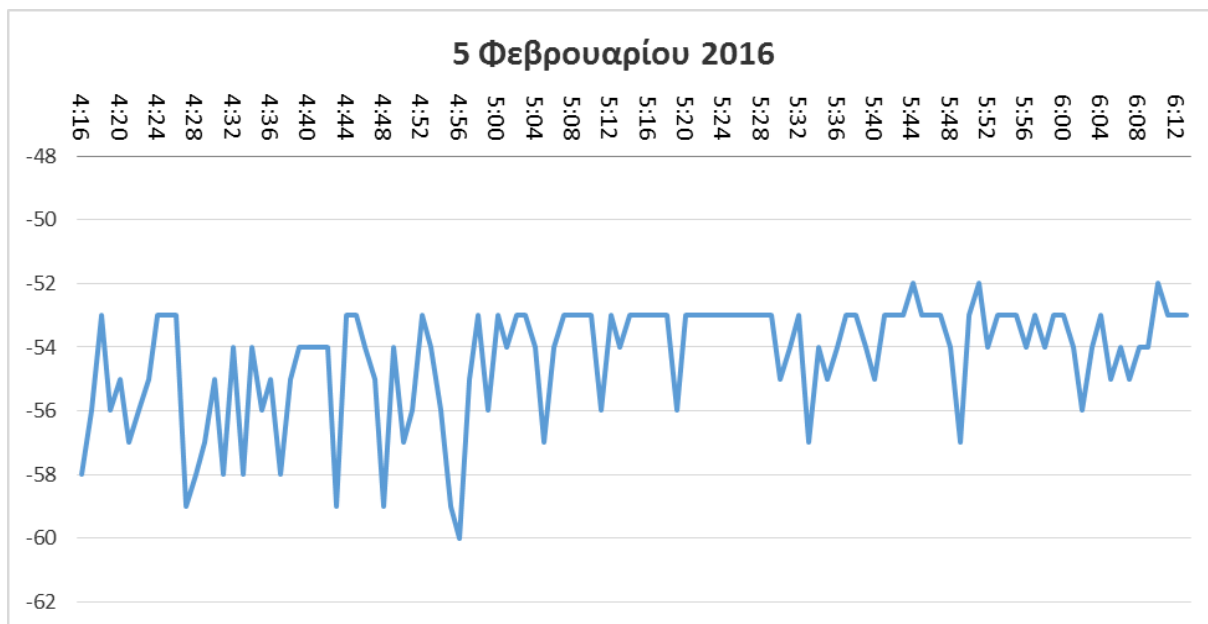
Σχήμα 5.3:Γραφική Παράσταση Μετρήσεων 30-31 Ιανουαρίου

5 Φεβρουαρίου 2016**Πίνακας 5.4:** Καιρικά δεδομένα και δύναμη σήματος για τις 5 Φεβρουαρίου 2016

ΩΡ Α	ΘΕΡΜΟ ΚΡΑΣΙΑ C	ΣΧ. ΥΓΡ ΑΣΙΑ	ΒΡΩΧΟ ΠΤΩΣΗ (mm)	ΣΗΜΑ (dBm)	ΩΡ Α	ΘΕΡΜΟ ΚΡΑΣΙΑ C	ΣΧ. ΥΓΡ ΑΣΙΑ	ΒΡΩΧΟ ΠΤΩΣΗ (mm)	ΣΗΜΑ (dBm)
4:16	7.8	92	0.2	-58	4:56	7.8	92	0.0	-60
4:17	7.8	92	0.0	-56	4:57	7.8	92	0.0	-55
4:18	7.8	92	0.0	-53	4:58	7.8	92	0.0	-53
4:19	7.8	92	0.0	-56	4:59	7.8	92	0.0	-56
4:20	7.8	92	0.0	-55	5:00	7.8	92	0.0	-53
4:21	7.8	92	0.0	-57	5:01	7.8	92	0.0	-54
4:22	7.8	92	0.2	-56	5:02	7.8	92	0.0	-53
4:23	7.8	92	0.0	-55	5:03	7.8	92	0.0	-53
4:24	7.8	92	0.0	-53	5:04	7.8	92	0.0	-54
4:25	7.7	92	0.0	-53	5:05	7.8	92	0.0	-57
4:26	7.7	92	0.0	-53	5:06	7.7	92	0.2	-54
4:27	7.7	92	0.0	-59	5:07	7.7	92	0.0	-53
4:28	7.7	92	0.0	-58	5:08	7.7	92	0.0	-53
4:29	7.6	92	0.0	-57	5:09	7.7	92	0.0	-53
4:30	7.6	92	0.0	-55	5:10	7.7	92	0.0	-53
4:31	7.6	92	0.0	-58	5:11	7.7	92	0.0	-56
4:32	7.6	92	0.0	-54	5:12	7.7	92	0.0	-53
4:33	7.7	92	0.0	-58	5:13	7.7	92	0.0	-54
4:34	7.7	92	0.0	-54	5:14	7.7	92	0.0	-53
4:35	7.7	92	0.0	-56	5:15	7.7	92	0.0	-53
4:36	7.8	92	0.0	-55	5:16	7.7	92	0.0	-53
4:37	7.8	92	0.0	-58	5:17	7.6	92	0.0	-53
4:38	7.8	92	0.0	-55	5:18	7.6	92	0.0	-53
4:39	7.8	92	0.0	-54	5:19	7.6	92	0.0	-56
4:40	7.8	92	0.0	-54	5:20	7.6	92	0.0	-53
4:41	7.8	92	0.2	-54	5:21	7.6	92	0.0	-53
4:42	7.8	92	0.0	-54	5:22	7.6	92	0.2	-53
4:43	7.8	92	0.0	-59	5:23	7.6	92	0.0	-53
4:44	7.8	92	0.0	-53	5:24	7.6	92	0.0	-53
4:45	7.7	92	0.0	-53	5:25	7.6	92	0.0	-53
4:46	7.7	92	0.0	-54	5:26	7.6	92	0.0	-53
4:47	7.7	92	0.0	-55	5:27	7.7	92	0.0	-53
4:48	7.7	92	0.0	-59	5:28	7.7	92	0.0	-53
4:49	7.7	92	0.0	-54	5:29	7.7	92	0.0	-53
4:50	7.7	92	0.0	-57	5:30	7.7	92	0.0	-55
4:51	7.7	92	0.0	-56	5:31	7.7	92	0.0	-54
4:52	7.7	92	0.0	-53	5:32	7.7	92	0.0	-53
4:53	7.8	92	0.0	-54	5:33	7.6	92	0.0	-57
4:54	7.8	92	0.0	-56	5:34	7.6	92	0.0	-54
4:55	7.8	92	0.0	-59	5:35	7.6	92	0.0	-55

ΩΡΑ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ C	ΣΧ. ΥΓΡΑΣΙΑ	ΒΡΩΧΟΠΤΩΣΗ (mm)	ΣΗΜΑ (dBm)
5:36	7.6	92	0.0	-54
5:37	7.6	92	0.0	-53
5:38	7.6	92	0.0	-53
5:39	7.6	92	0.0	-54
5:40	7.5	92	0.0	-55
5:41	7.5	92	0.0	-53
5:42	7.5	92	0.0	-53
5:43	7.5	92	0.0	-53
5:44	7.4	92	0.0	-52
5:45	7.4	92	0.0	-53
5:46	7.3	92	0.0	-53
5:47	7.3	92	0.0	-53
5:48	7.3	92	0.0	-54
5:49	7.3	92	0.0	-57
5:50	7.4	92	0.0	-53
5:51	7.4	92	0.0	-52
5:52	7.3	92	0.0	-54
5:53	7.3	92	0.0	-53
5:54	7.2	92	0.0	-53
5:55	7.1	92	0.0	-53
5:56	7.0	92	0.0	-54
5:57	6.9	92	0.0	-53
5:58	6.9	92	0.0	-54
5:59	7.0	92	0.0	-53
6:00	7.1	92	0.0	-53
6:01	7.1	92	0.0	-54
6:02	7.2	92	0.0	-56
6:03	7.2	92	0.0	-54
6:04	7.1	92	0.0	-53
6:05	7.1	92	0.0	-55
6:06	7.0	92	0.0	-54
6:07	7.0	92	0.0	-55
6:08	7.0	92	0.0	-54
6:09	7.0	92	0.0	-54
6:10	7.0	92	0.0	-52
6:11	7.0	92	0.0	-53
6:12	6.9	92	0.0	-53
6:13	6.9	92	0.0	-53

Οι μετρήσεις στις 5 Φεβρουαρίου είχαν καταγραφεί ενώ υπήρχε ασθενής βροχόπτωση. Η παρακάτω γραφική παράσταση δείχνει την αλλαγή του σήματος ως προς το χρόνο με ελάχιστο σήμα -60 db/m στις 04:56.



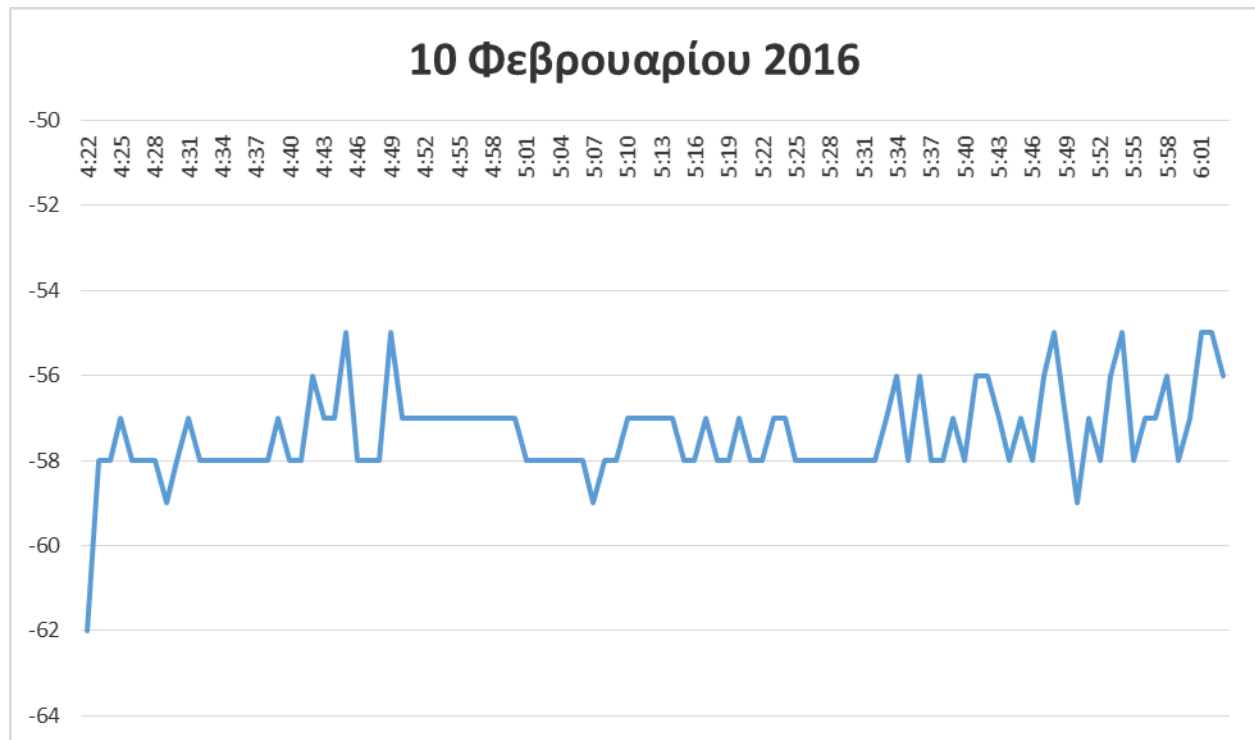
Σχήμα 5.4:Γραφική Παράσταση Μετρήσεων 5 Φεβρουαρίου

10 Φεβρουαρίου 2016**Πίνακας 5.5: Καιρικά δεδομένα και δύναμη σήματος για τις 10 Φεβρουαρίου 2016**

ΩΡ Α	ΘΕΡΜΟ ΚΡΑΣΙΑ C	ΣΧ. ΥΓΡ ΑΣΙΑ	ΒΡΩΧΟ ΠΤΩΣΗ (mm)	ΣΗΜΑ (dBm)	ΩΡ Α	ΘΕΡΜΟ ΚΡΑΣΙΑ C	ΣΧ. ΥΓΡ ΑΣΙΑ	ΒΡΩΧΟ ΠΤΩΣΗ (mm)	ΣΗΜ Α (dBm)
4:22	7.9	88	0.0	-62	5:02	7.7	90	0.0	-58
4:23	7.9	88	0.0	-58	5:03	7.7	90	0.0	-58
4:24	7.9	88	0.0	-58	5:04	7.7	90	0.0	-58
4:25	7.9	88	0.0	-57	5:05	7.7	90	0.0	-58
4:26	7.9	88	0.0	-58	5:06	7.7	90	0.0	-58
4:27	7.9	88	0.0	-58	5:07	7.7	90	0.0	-59
4:28	8.0	88	0.0	-58	5:08	7.7	90	0.0	-58
4:29	8.0	88	0.0	-59	5:09	7.7	90	0.0	-58
4:30	8.0	88	0.0	-58	5:10	7.6	90	0.0	-57
4:31	7.9	88	0.0	-57	5:11	7.6	90	0.0	-57
4:32	7.9	89	0.0	-58	5:12	7.6	90	0.0	-57
4:33	7.9	89	0.0	-58	5:13	7.6	90	0.0	-57
4:34	7.9	89	0.0	-58	5:14	7.6	90	0.0	-57
4:35	7.9	89	0.0	-58	5:15	7.5	90	0.0	-58
4:36	7.9	89	0.0	-58	5:16	7.5	90	0.0	-58
4:37	7.9	89	0.0	-58	5:17	7.5	90	0.0	-57
4:38	7.9	89	0.0	-58	5:18	7.4	90	0.0	-58
4:39	7.9	89	0.0	-57	5:19	7.4	90	0.0	-58
4:40	7.9	89	0.0	-58	5:20	7.4	90	0.0	-57
4:41	7.9	89	0.0	-58	5:21	7.4	90	0.0	-58
4:42	7.9	90	0.0	-56	5:22	7.4	90	0.0	-58
4:43	7.8	90	0.0	-57	5:23	7.4	90	0.0	-57
4:44	7.8	90	0.0	-57	5:24	7.3	90	0.0	-57
4:45	7.8	90	0.0	-55	5:25	7.3	90	0.0	-58
4:46	7.8	90	0.0	-58	5:26	7.3	90	0.0	-58
4:47	7.8	90	0.0	-58	5:27	7.3	90	0.0	-58
4:48	7.8	90	0.0	-58	5:28	7.3	89	0.0	-58
4:49	7.8	90	0.0	-55	5:29	7.4	89	0.0	-58
4:50	7.8	90	0.0	-57	5:30	7.4	89	0.0	-58
4:51	7.7	90	0.0	-57	5:31	7.5	89	0.0	-58
4:52	7.7	90	0.0	-57	5:32	7.6	89	0.0	-58
4:53	7.7	90	0.0	-57	5:33	7.6	89	0.0	-57
4:54	7.7	90	0.0	-57	5:34	7.6	89	0.0	-56
4:55	7.7	90	0.0	-57	5:35	7.6	89	0.0	-58
4:56	7.7	90	0.0	-57	5:36	7.5	88	0.0	-56
4:57	7.7	90	0.0	-57	5:37	7.5	88	0.0	-58
4:58	7.7	90	0.0	-57	5:38	7.5	88	0.0	-58
4:59	7.7	90	0.0	-57	5:39	7.5	88	0.0	-57
5:00	7.7	90	0.0	-57	5:40	7.5	88	0.0	-58
5:01	7.7	90	0.0	-58	5:41	7.5	88	0.0	-56
5:02	7.7	90	0.0	-58	5:42	7.5	88	0.0	-56

ΩΡΑ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ C	ΣΧ. ΥΓΡΑΣΙΑ	ΒΡΩΧΟΠΤΩΣΗ (mm)	ΣΗΜΑ (dBm)
5:43	7.5	88	0.0	-57
5:44	7.6	89	0.0	-58
5:45	7.6	88	0.0	-57
5:46	7.6	88	0.0	-58
5:47	7.7	88	0.0	-56
5:48	7.7	88	0.0	-55
5:49	7.7	88	0.0	-57
5:50	7.7	87	0.0	-59
5:51	7.7	87	0.0	-57
5:52	7.8	88	0.0	-58
5:53	7.8	88	0.0	-56
5:54	7.8	88	0.0	-55
5:55	7.8	88	0.0	-58
5:56	7.8	87	0.0	-57
5:57	7.7	88	0.0	-57
5:58	7.7	88	0.0	-56
5:59	7.7	88	0.0	-58
6:00	7.7	88	0.0	-57
6:01	7.7	88	0.0	-55
6:02	7.7	88	0.0	-55
6:03	7.7	88	0.0	-56

Οι μετρήσεις στις 10 Φεβρουαρίου είχανε καταγραφεί ενώ υπήρχε ασθενής βροχόπτωση. Η παρακάτω γραφική παράσταση δείχνει την αλλαγή του σήματος ως προς το χρόνο με ελάχιστο σήμα -59 db/m σε πολλαπλά χρονικά διαστήματα.



Σχήμα 5.5:Γραφική Παράσταση Μετρήσεων 10 Φεβρουαρίου

5.2 Διαδικασία Πειράματος και τιμές με μέσο το νερό

Για το συγκεκριμένο πείραμα αξιοποιήθηκαν:

-Ένα ορθογώνιο πλαστικό κιβώτιο συνολικής χωρητικότητας 139 lt. (μέγεθος 90 cm x 48 cm x 32 cm).

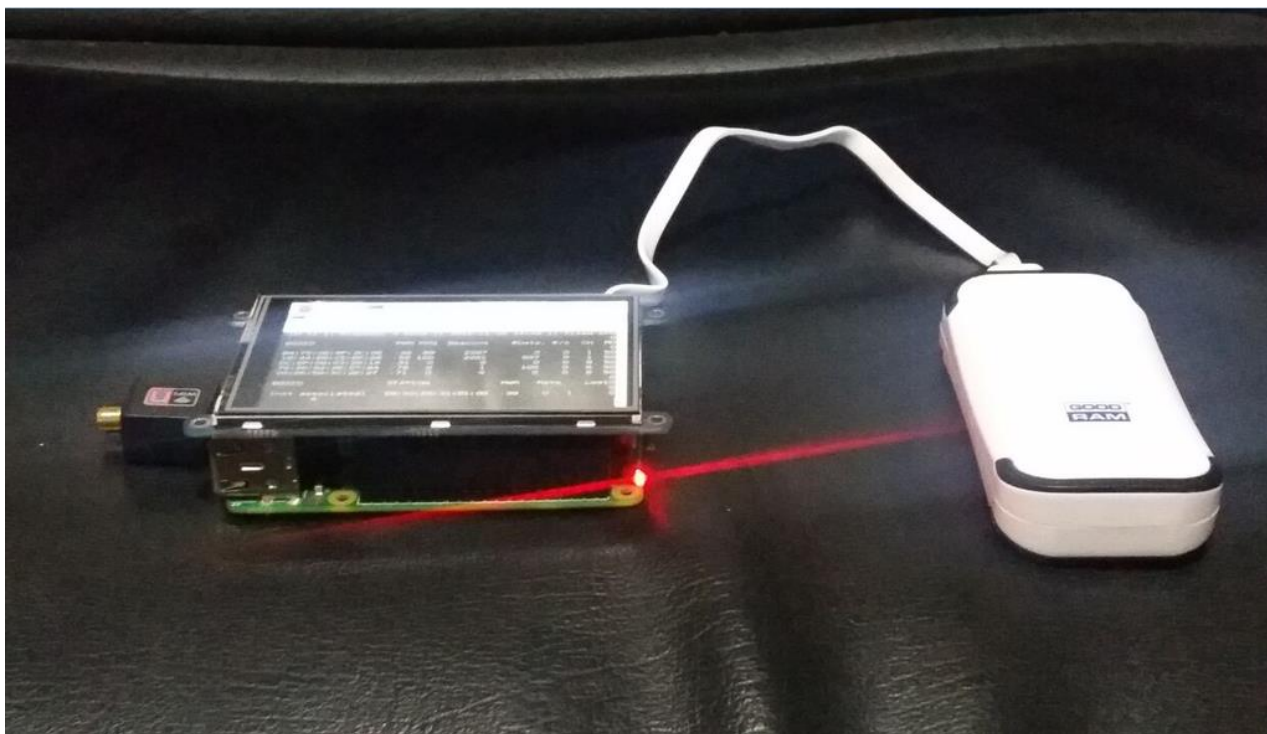
-Δρομολογητής ALFA AP121U

-Raspberry Pi 2 με ενσωματωμένη TFT οθόνη αφής με USB WiFi που χρησιμοποιεί το chipset MT7601U

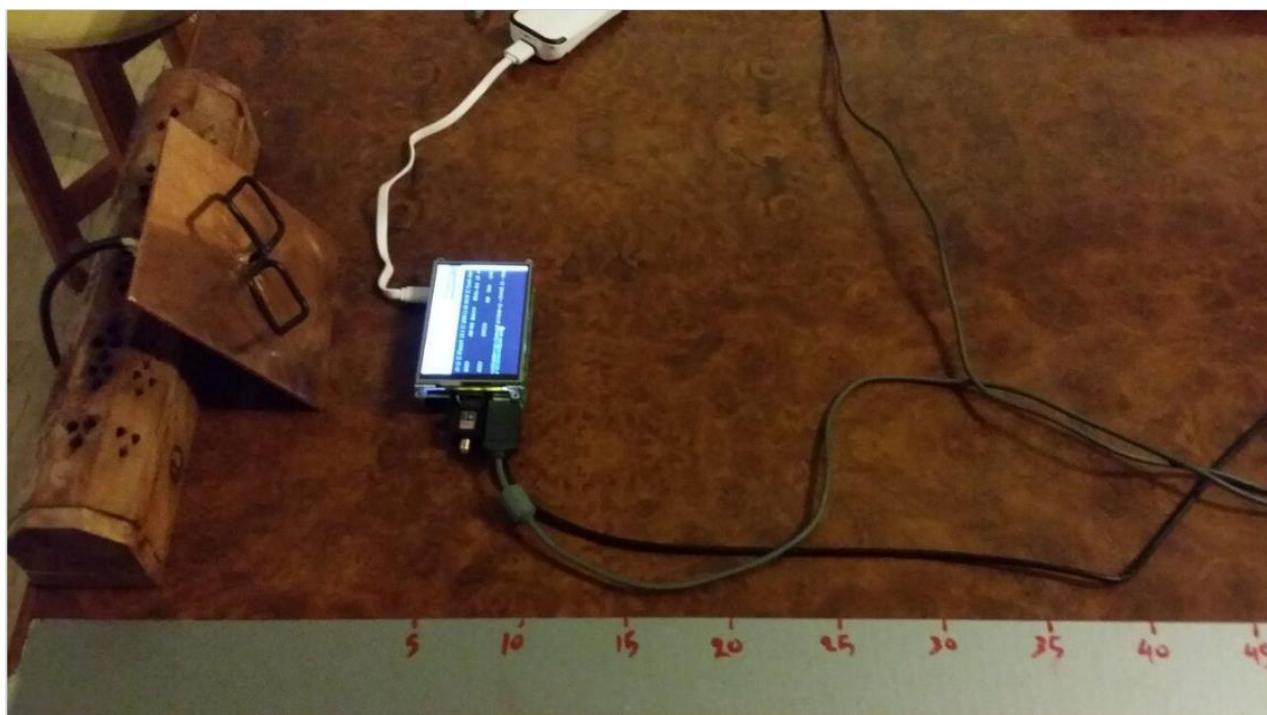
- Power Bank των 4400 mAh

-Κεραία κατασκευασμένη σύμφωνα με το προηγούμενο κεφάλαιο.

Η κεραία όπου εξομοιώθηκε στο HFSS μας έδινε κέρδος -25 dB στα 2.4 GHz ενώ τα πειραματικά αποτελέσματα αλλάζουν ανάλογα με την ύπαρξη μόνωσης και επίσης το μέσο διάδοσης.



Σχήμα 5.1: Σύνθεση του Raspberry Pi 2 με τον WiFi Adaptor και το Powerbank..



Σχήμα 5.2: Πρώτη μέτρηση με μέσο το κενό (σε απόσταση 5cm)



Σχήμα 5.3: Η κεραία που βρίσκεται υποβρύχια για τις μετρήσεις με μέσο το νερό

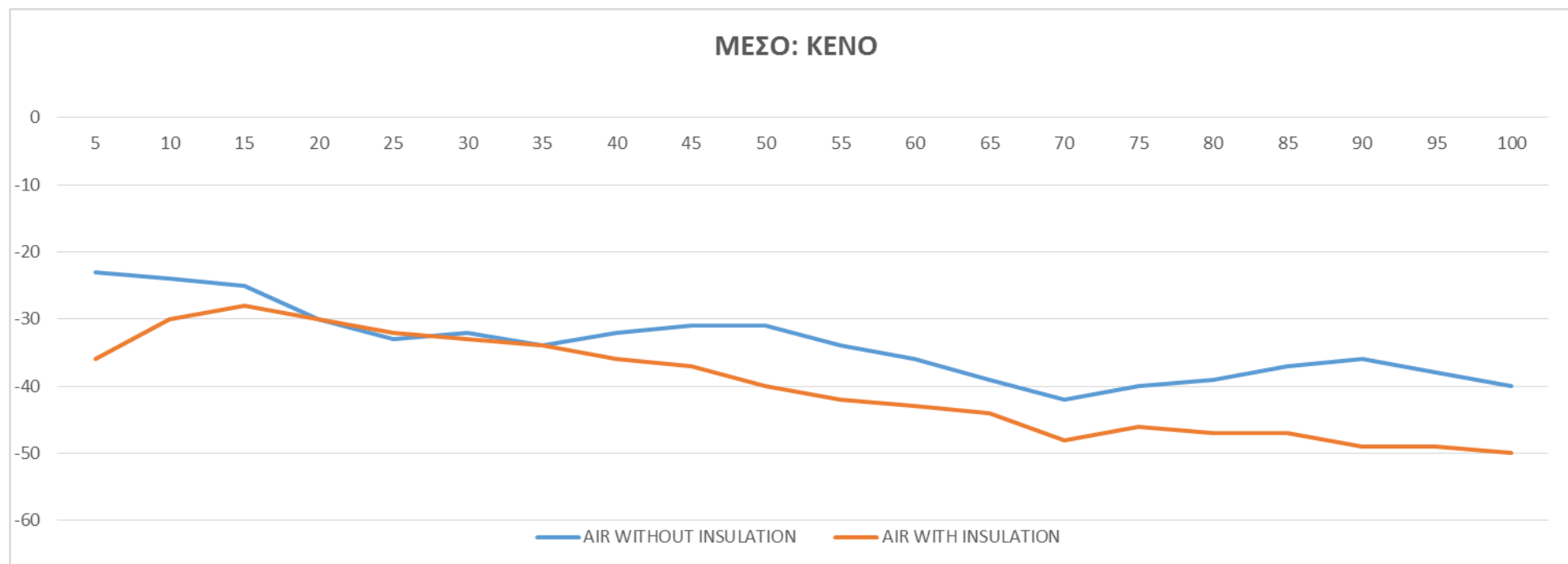
Παρακάτω δίνονται οι τιμές για συγκεκριμένη απόσταση με μέσο τον ατμοσφαιρικό αέρα με και χωρίς μόνωση.

Πίνακας 5.6: Δύναμη σήματος για συγκεκριμένες τιμές με συγκεκριμένη απόσταση με μέσο τον ατμοσφαιρικό αέρα

Απόσταση (cm)	Χωρίς Μόνωση	Με Μόνωση
5	-23	-36
10	-24	-30
15	-25	-28
20	-30	-30
25	-33	-32
30	-32	-33
35	-34	-34
40	-32	-36
45	-31	-37
50	-31	-40
55	-34	-42
60	-36	-43
65	-39	-44
70	-42	-48
75	-40	-46

Επίδραση καιρικών συνθηκών της τροπόσφαιρας σε ασύρματες ζεύξεις μικροκυματικών συχνοτήτων Wi-Fi

80	-39	-47
85	-37	-47
90	-36	-49
95	-38	-49
100	-40	-50

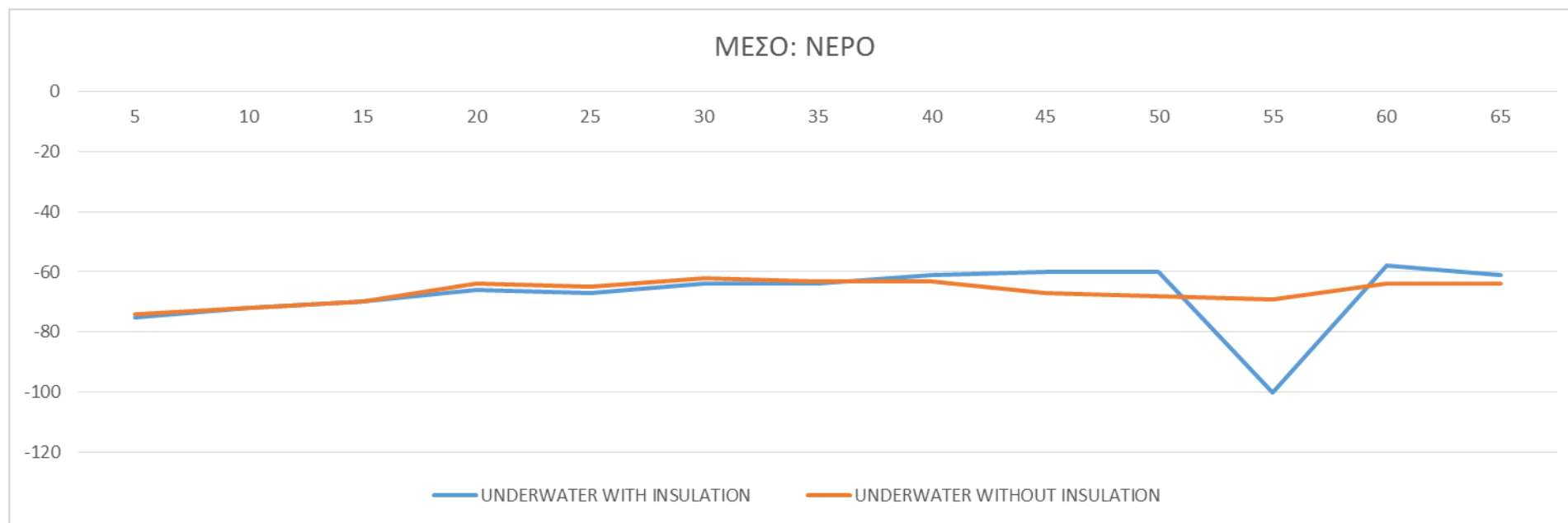


Σχήμα 5.6: Διαφοροποίηση σήματος ενώ αλλάζει η απόσταση με μέσο τον ατμοσφαιρικό αέρα (κενό)

Παρακάτω δίνονται οι τιμές για συγκεκριμένη απόσταση με μέσο το νερό με και χωρίς μόνωση.

Πίνακας 5.7: Δύναμη σήματος για συγκεκριμένες τιμές με συγκεκριμένη απόσταση με μέσο το νερό

Απόσταση (cm)	Νερό χωρίς Μόνωση	Νερό με Μόνωση
5	-74	-75
10	-72	-72
15	-70	-70
20	-64	-66
25	-65	-67
30	-62	-64
35	-63	-64
40	-63	-61
45	-67	-60
50	-68	-60
55	-69	-100
60	-64	-58
65	-64	-61
70	-100	-100
75	-100	-100
80	-100	-100
85	-100	-100
90	-100	-100
95	-100	-100
100	-100	-100



Σχήμα 5.7: Διαφοροποίηση σήματος ενώ αλλάζει η απόσταση με μέσο το νερό

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε μια ζεύξη όταν μετράμε το σήμα μας μπορούμε να πούμε ότι όσο πιο μεγάλη είναι η διαφορά μεταξύ της μέγιστης τιμής και της ελάχιστης τιμής τόσο πιο ασταθής είναι.

Η απόσταση μεταξύ των δύο συσκευών ήτανε πάρα πολύ μικρή για να μην υπάρξει η πιθανότητα να χαθεί το σήμα καθόλη τη διάρκεια της μέτρησης.

Από τις μετρήσεις που πήραμε από το πείραμα των 10 μέτρων μπορούμε να συνοψίσουμε τα εξής:

- Στις 23 Ιανουαρίου όπου είχαμε χιονόπτωση η διαφορά σήματος βρισκότανε στα 12 dBm όπου ήτανε και η μεγαλύτερη διαφορά από όλες τις μετρήσεις. Ένας πιθανός λόγος βρίσκεται στην κρυσταλλική μορφή των νυφάδων που βρίσκονται σε στερεά κατάσταση οι οποίες δημιουργούσανε ανακλάσεις στο σήμα με αποτέλεσμα την «αποδυνάμωση» του σήματος. Η μέση τιμή του σήματος ήτανε – 56.48 dBm
- Στις 25 Ιανουαρίου όπου είχαμε ηλιοφάνεια η διαφορά σήματος βρισκότανε στα 3 dBm όπου είχαμε και τη μικρότερη διαφορά. Η μέση τιμή του σήματος ήτανε – 52.12 dBm. Να σημειωθεί ότι η διαφορά σήματος θεωρείται άριστη έως και ιδανική
- Στις 30 και 31 Ιανουαρίου όπου είχαμε ομίχλη η διαφορά σήματος ήτανε 7 dBm. Η μέση τιμή του σήματος βρισκότανε στα -55.83 dBm.
- Στις 5 Φεβρουαρίου όπου είχαμε σποραδική βροχόπτωση η διαφορά σήματος ήτανε 8 dBm με μέση τιμή σήματος στα -54.33 dBm
- Τέλος στις 10 Φεβρουαρίου όπου υπήρχε ομίχλη, η διαφορά σήματος βρισκότανε στα 4 dBm με μέση τιμή σήματος -57.34 dBm.

Οι μετρήσεις υποδεικνύουν ότι οι καιρικές συνθήκες επηρεάζουν μια μικροκυματική ζεύξη στους 2.4 megacycles, όπου ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες αλλάζει η σταθερότητα της ζεύξης. Εντύπωση έκανε επίσης η επιρροή της ομίχλης στο στην ζεύξη, όπου δυστυχώς δεν υπήρχαν μετρήσεις (σε μέτρα ορατότητας) για την πυκνοτητά της.

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

Wi-Fi	Wireless Fidelity
WEP	Wired Equivalent Privacy
WPA	Wi-Fi Protected Acces
WPS	Wi-Fi Protected Setup
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
RF	Radio Frequency
Mbps	Megabytes per second
OSI	Open Systems Interconnection
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
CCK	Complementary Code Keying
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
ISM band	Industrial Scientific and Medical Band
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
ITU-R	International Telecommunications Union-Radiocommunication

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας έχει ανακοινωθεί σε δύο διεθνή συνέδρια, στο International Workshop on Antenna Technology (2017) με τίτλο Bow-Tie Antenna for Underwater Wireless Sensor Networks και συγγραφείς Κωνσταντίνος Ν. Αλβέρτος, Ευαγγελία Α. Καραγιάννη, Θωμάς Κ. Μπουντάς, Δήμητρα Ι. Κακλαμάνη και επίσης στο 7th International Conference on “Experiments/Process/System/Modeling/Simulation/Optimization” με τίτλο TROPOSPHERIC AND UNDERWATER PROPAGATION AT MICROWAVE FREQUENCIES με συγγραφείς Κωνσταντίνος Ν. Αλβέρτος, Κωνσταντίνος Βαρδάκης, Αθανάσιος Π. Μητρόπουλος, Ευαγγελία Α. Καραγιάννη, Χρήστος Ν. Βαζούρας, Μιχάλης Ε. Φαφάλιος.

Bow-Tie Antenna for Underwater Wireless Sensor Networks

Konstantinos N. Alvertos

National and Kapodistrian University of Athens
Department of Informatics and Telecommunication
Panepistimiopolis, Ilisia, 15784, Athens, Greece

Evangelia A. Karagianni, Konstantinos D. Vardakis

Hellenic Naval Academy
Hadjikyriakou Avenue, 18539, Piraeus, Greece
evka@hna.gr

Thomas K. Mpountas, Dimitra I. Kaklamani

National Technical University of Athens
School of Electrical and Computer Engineering
9 Iroon Polytechniou Str., 15780 Zografos, Athens, Greece
dkaklam@mail.ntua.gr

Abstract— within this paper the use of Wi-Fi in air and underwater environment using the channels around the 2.4 GHz frequency range that have been standardized worldwide, is presented through simulation and experimental work. Using a bow-tie shaped antenna we study the actual signal strength between underwater and air conditions, while changing the distance between two devices, wirelessly connected with each other.

Keywords — Bow-tie Antenna, Underwater Communications, Wireless Fidelity, Wireless LAN.

I. INTRODUCTION

The use of wireless communication in an underwater environment is not something new as an idea or concept. A variety of wireless sensors exist within the oceans and seas around the world in order to collect various data that are useful for the oil industry, instrument monitoring, pollution control, climate recording, prediction of natural disturbances, search and survey missions, and study of marine life [1].

The technologies most frequently used for these purposes, have a great amount of disadvantages. Acoustic technologies are suitable for long range communications (in the order of several km), but they have poor performance in shallow water, poor noise immunity, limited bandwidth because of the band of frequencies used and potential impact on marine life [2]. All these characteristics make them non-suitable for real-time and broadband underwater wireless sensor networks used in defense, offshore oil and gas industries as well as in environmental monitoring [3]. On the other hand, although the ultra-high bandwidths of optical systems (in the order of many Gbits/s) seem to be ideal but they are very susceptible to turbidity and the presence of suspended particles, thus to marine fouling. Also they require line-of-sight conditions [4], [5].

RF systems can operate in non-line-of-sight, they are immune to noise, turbidity and suspended particles (depending on the contamination of the water) and they can allow high

bandwidths (up to 108 Mbits/s) [2],[3]. Additionally, the range of underwater RF technology can be increased when operating near the surface, since the air path carries most of the signal.

II. RECENT APPLICATIONS AND RESEARCH

Underwater Wireless Sensor Networks (WSN) are sensors used to monitor environmental or physical phenomena in order to cooperatively disseminate the data through the network of sensors to a shore access point. Coastline protection, off-shore oil/gas field monitoring, oceanographic data collection, autonomous or remotely operated underwater vehicles are some of the applications of WSN. Researchers deploy WSN's in unconventional environments for further studies which are stationed underground or underwater, in order to monitor soil or sea properties respectively and then transmit the collected data [5]. Another possible application is the real-time guidance of an autonomous underwater vehicle (AUV) when approaching an underwater docking station and subsequent high-speed data transfer between the AUV and the dock. Another application could be the implementation of IEEE 802.11 networks in underwater communications at VHF, UHF and SHF bands [11], [13].

Previous research has been focused in channel characterization and not in antenna design which influences its structural parameters as well as the changes in different environmental conditions [15], [16]. The great difference in designing an antenna when the propagation medium is water, is the change of the medium's density which limits our frequency options as well as the presence of particles when heavy rain conditions are taken into account.

III. ANTENNAS FOR THE 802.11 STANDARD

A. Bands for IEEE802.11

WLAN has the potential to provide an ideal solution for certain applications, since they are globally available, their cost is relatively low and that WLAN can operate in frequency spectrums that have been released for free public use as ISM

(Industrial, Scientific and Medicine) radio bands thus there is no licensing fee.

IEEE 802.11 is the current standard for WLAN. Most people refer to WLAN as Wi-Fi. It has four popular protocols: 802.11a, 802.11b, 802.11g, and 802.11n. While 802.11a operates at 5 GHz, 802.11b and 802.11g operate at the 2.4GHz. Furthermore, 802.11n operates at both 2.4 GHz and 5GHz band. Nowadays, 802.11ac is becoming more popular among vendors.

The 2.4 GHz has long been a standard around the world, while the usage of many channels within the 5 GHz band is prohibited in some countries, like China. One reason to use the lower frequency band is because the waves of the 2.4 GHz band have a better propagation behavior through obstacles than that of the 5 GHz band waves and thus provides better coverage. On the other hand, the main reason to use the 5 GHz band is that it is not used as widely as the 2.4 GHz band so there is less interference from neighboring Wi-Fi signals. Also, the higher the frequency is kept, the smaller the size of the antenna should be, meaning that 5 GHz waves need cheaper (in general terms) antennas which can be designed and built easier.

TABLE I. WIRELESS STANDARDS

Standard	Frequency	Data Rate
IEEE 802.11b	2.4 GHz	11 Mbps
IEEE 802.11g	2.4 GHz	54 Mbps
IEEE 802.15.4	2.45 GHz (Worldwide)	250 Kbps
IEEE 802.15.4	868/915 MHz (N. America/Europe)	20/40/100 Kbps
IEEE 802.11a	5 GHz	54 Mbps
IEEE 802.11n	2.4/5 GHz	54 Kbps – 600 Mbps
IEEE 802.11ac	5 GHz	6.77 Gbps

B. Antenna type selection

A highly directional antenna allows the signal from the WLAN Access Point (AP) to be aimed at a designed location. Signal can be directed towards high density location and provide WLAN to users. This provides a convenient way to give access to an extended coverage for a high density population area, without the need of installing more APs.

Different antenna configurations were studied. Various types of high gain antennas were compiled to be considered for the WLAN possible antenna design. All types can provide sufficient gain with the use of a plain, parabolic, or corner reflector. The choice was the bow-tie antenna.

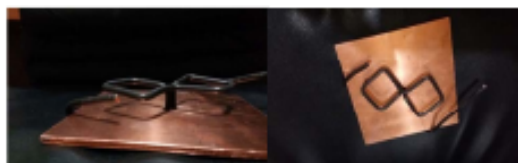


Fig. 1. The bow-tie antenna

The bow-tie antenna is popular for frequencies ranging from Ultra High Frequency (UHF), from 300 MHz to 3 GHz, up to the millimeter wave range, from 30 GHz to 300 GHz. The bow-tie antenna performance is not sensitive to small

parameter variations, improving robustness to manufacturing tolerances. Although the bow-tie antenna provides reasonable wide-band performance, this is not a high performance antenna; thus demanding applications may call for more complex designs. The resistively bow-tie antenna is a practical candidate for pulse radiation [14].

In this paper we assess through experiment the performance of bow-tie antennas both in air and fresh water and in terms of RSSI (Received Signal Strength Indicator). This type of antenna is selected and implemented since it is simple to produce at a very low cost. The bow-tie antenna is depicted in Fig. 1 and consisted of a simple 4 mm thick copper wire with each side of 30 mm covered by a temporary insulator with a thickness of 0.1mm and a relative permittivity of 3.

IV. WATER PROPERTIES

Propagating an electromagnetic wave underwater varies from the default medium (which is air). Several factors come in place but the main ones are conductivity and permittivity of water. This results to the need of designing and fabricating specific antennas for the use in underwater environment for appropriate propagation of the electromagnetic wave and have the needed durability to sustain its integrity and operability underwater. Air has a conductivity from $3 \cdot 10^{-15}$ to $8 \cdot 10^{-15}$ S/m.

A. Conductivity of water

Conductivity of the water can value from 5.5 μ S/m up to 4 S/m. To be more precise high quality deionized water values at around $5.5 \cdot 10^{-6}$ S/m, drinkable water values from $5 \cdot 10^{-3}$ to $5 \cdot 10^{-2}$ S/m and salt water around 4 S/m.

B. Permittivity and permeability of water

The best media for electromagnetic waves propagation are insulators where the conductivity (σ) is zero in S/m, so they are called lossless media. If the conductivity of a medium increases, the attenuation of radio waves is also increases. In a medium with conductivity different to zero, the permittivity (ϵ) becomes complex with a value of:

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0 - j \frac{\sigma}{\omega} = \epsilon' - j \epsilon'' = \epsilon' (1 - j \tan \delta_\epsilon) \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_0} \right) \quad (1)$$

Where ϵ_0 is the vacuum permittivity, σ is the conductivity of the medium, ω is the angular frequency and ϵ_r is the relative permittivity which varies from 55.720 up to 87.740 in water case. In this specific case the value at 15°C will be used which is 81.946 according the Debye and Cole-Cole models and can be applied for frequencies up to several hundreds of MHz [9].

Since the water is a non-magnetic medium, the value of its relative permeability is $\mu_r=1$, so, the permeability μ of the water is the same as that of free space μ_0 . The conductivity of water is $\sigma=5.10^{-2}$.

V. UNDERWATER ELECTROMAGNETIC PROPAGATION

A. Intrinsic Impedance of the Water

The intrinsic impedance is a medium property that describes the ratio of the electric field strength to the magnetic field strength and this is the wave impedance of the electromagnetic wave when propagates through it. The intrinsic impedance of the air is calculated to $Z_0=377\Omega$. However, the

intrinsic impedance of water is a complex value and it is expressed as a function of permeability (μ), permittivity (ϵ), conductivity (σ), and angular frequency ($\omega=2\pi f$) [6], [8].

$$Z = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma + j\omega\epsilon}} \quad (2)$$

B. Propagation of Electromagnetic Waves

The propagation of electromagnetic waves in any medium is characterized by its propagation constant γ , which is given, using equation 1, by:

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{j\omega\mu(\sigma + j\omega\epsilon)} \quad (3)$$

$$\gamma = \omega \sqrt{\frac{\mu\epsilon'(1 - \cos\delta_e)}{2\cos\delta_e}} + j\omega \sqrt{\frac{\mu\epsilon''(1 + \cos\delta_e)}{2\cos\delta_e}} \quad (4)$$

where α (Np/m) and β (rad/m) are the attenuation and phase constants respectively.

Media where $\sigma \ll \omega\epsilon'$ are considered dielectric media or insulators and media where $\sigma \gg \omega\epsilon'$ are considered conductors. It has been proven that fresh water becomes a conductor for frequencies below some tens of MHz. It has been also proven that attenuation increases with the frequency and conductivity. So, it is necessary to use frequencies below 1 GHz to get a reasonable communication range in fresh water environment.

C. Underwater Path Loss

The signal propagation in water depends on the path loss in water. Path loss represents the difference between the transmitted signal power and received signal power [7]. Received power as a function of transmitted signal, underwater path loss and antenna gain at the receiver end is given from Friis equation [12]:

$$P_r(\text{dBm}) = P_t(\text{dBm}) + G_t(\text{dB}) + G_r(\text{dB}) + L(\text{dB}) \quad (5)$$

where P_t is the transmit power, G_r and G_t are the gains of the receiver and transmitter antenna respectively, L is the path loss in water.

The path loss can be calculated by the equation:

$$L(\text{dB}) = L_0 + L_w + L_a \quad (6)$$

where L_0 is the path loss in air and given by:

$$L_0(\text{dB}) = 20 \log \frac{4\pi d}{\lambda} \quad (7)$$

$L_w(\text{dB})$ is the path loss due to changing in medium and can be calculated by:

$$L_w(\text{dB}) = 20 \log \frac{\lambda_0}{\lambda} \quad (8)$$

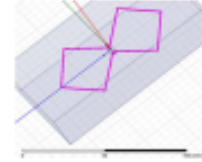
$L_a(\text{dB})$ is the path loss due to attenuation in medium and given by:

$$L_a(\text{dB}) = 20 \log e^{\alpha d} \approx 8.7 \alpha d \quad (9)$$

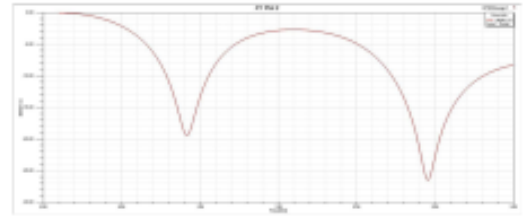
where d is the distance between transmitting and receiving nodes in meters, λ_0 is the signal wavelength in air and can be calculated by the equation $\lambda_0 = c/f$, λ is the wave factor and given by the equation $\lambda = 2\pi/\beta$, where β is the phase shifting constant and calculated by equations (3) and (4).

VI. SIMULATION RESULTS

Figure 2(a) presents the antenna design using High Frequency System Simulator software. When operated in the air, the antenna resonates at 2.45 GHz with $S_{11} = -26\text{dB}$ and at 910 MHz with $S_{11} = -20\text{dB}$. When the environment is pure water the antenna resonates at 150 MHz with -10 dB reflection coefficient. Figure 2(b) depicts the simulation results where it is obvious that the antenna has a very good performance in air at 2.4 GHz with 20% fractional bandwidth.



(a)



(b)

Fig. 2. The design and simulation results of the bow-tie antenna with HFSS software

VII. MATERIALS, EQUIPMENT AND MEASUREMENTS

The underwater measurements were taken inside a plastic container rectangle shaped with a maximum capacity of 139 liters (90 cm in length, 48 cm in width, and 32 cm in height). Our two devices was a portable ALFA AP121U router and a Raspberry Pi 2 with an integrated TFT touch screen and a Wi-Fi card containing the MT7601U chipset. For power we used a 4400mAh power bank that was submerged and recorded the changes of our signal (Figure 3) through software. Our maximum distance underwater was 65 cm while in vacuum we went up to 100 cm. The measurements were repeated with the insulation removed from the bow-tie antenna as seen in Fig. 4.



Fig. 3. Raspberry Pi 2 with its touchscreen TFT Wi-Fi adapter and power bank

In Figure 5 we can see the antenna submerged within the container at a fixed point while the raspberry pi is moved. Finally, measurements of the received signal strength at 2462 MHz for different distances with the bow-tie antenna with and without insulation are presented in Figure 6. At underwater distances more than 65 cm the signal is inadequate (less than -

100dBm) when in air the insulated antenna has an almost linear decreasing function. The naked antenna has a better performance in air and underwater (at distances more than 45 cm). The signal strength approaches -100dBm instantly at 55 cm distance, a phenomenon that is eliminated with measurements repetition and it is due to multiple instant reflections.



Fig 4. Bow-Tie antenna with and without its insulation



Fig 5. Bow-Tie antenna submerged within the container

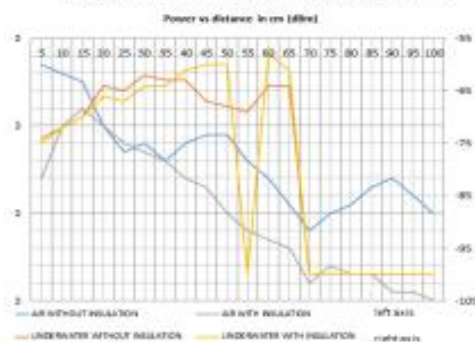


Fig 6. Measurements for the performance of the bow-tie antenna.

VIII. CONCLUSIONS

In this paper, signal attenuation (received signal strength) of electromagnetic waves with a bow-tie antenna in an underwater three dimensional space was examined to establish an underwater localization system. A high gain bow-tie antenna is designed and simulated using HFSS software and fabricated using cheap materials. The antenna gain is -25 dB at 2.4 GHz, which is very high value for underwater wireless communication to overcome the high path loss due attenuation.

An important result of this work is the drastic change in received power in air and underwater. The non-insulated antenna has a very good performance (better than the insulated one) when working in air. The strength of the received signal is -23 dBm at 5cm distance and fell almost linear of the order of 0.5dB/cm up to 70 cm. The best performance measured at 50 cm and 90 cm where the signal strength was -30dBm and -35dBm respectively. For longer distances (more than 30cm) the

antenna without insulation has 10 dB better performance than the insulated one. Regarding the underwater environment, the insulated antenna has better performance for distances up to 38 cm. This indicates the need to take into account the properties of the medium and in particular its conductivity, at the design stage. It is worth to mention that the signal is lost at a distance around 55 cm having a strength of 0.1pW, while it appears again at 60-65 cm with 1nW signal strength. Both antennas (insulated or not) can operate up to the distance of 65 cm underwater. Our inability to test greater distances was based on the size of the container, which can also be concluded that the distance could be much greater for a bow-tie antenna.

The experimental results in freshwater agree well with those obtained through HFSS simulations, in terms of the transmission power. So we can conclude that it is possible to predict the operation of the antennas and improve their design.

REFERENCES

- [1] John Heidemann, Milica Stojanovic, Michele Zorzi, "Underwater sensor networks: applications, advances and challenges," Published 28 November 2011.DOI: 10.1098/rsta.2011.0214
- [2] Artur Zolich, Jo Arve Alfredsen, Tor Arne Johansen "A communication bridge between underwater sensors and unmanned vehicles using a surface wireless sensor network - design and validation", OCEANS 2016.
- [3] S. I. In'acio, M. R. Pereira, H. M. Santos, L. M. Pessoa, F. B. Teixeira, M. J. Lopes, O. Aboderin, H. M. Salgado, "Dipole Antenna for Underwater Radio Communications"
- [4] Evangelia A. Karagianni, "Electromagnetic Waves under Sea: Bow-Tie Antenna Design for Wi-Fi Underwater Communications" January, 2015
- [5] H. Kulhandjian, L.C. Kuo, T. Melodia, D.A. Pados, "Towards Experimental Evaluation of Software-Defined Underwater Networked Systems", Proc. of IEEE Underwater Communications Conf. and Workshop (UComms), Sestri Levante, Italy, 2012.
- [6] C. G. Malmberg, A. A. Maryon, "Dielectric Constant of Water from 0°C to 100°C", Journal of Research National Bureau of Standards, Vol. 56, No. 1, January 1956, Research Paper 2641.
- [7] G. Stuber, "Principles of Mobile Communication," Klumer Academic Publishers, 1996, 2001.
- [8] S. Ramo, J. Whinnery and T. Van Duzer, Fields and Water for Communications Electronics, John Wiley and Son, New York, 1994.
- [9] J. Wait, Electromagnetic Wave Theory, Harper and Row, New York, 1985.
- [10] K. Hunt, J. Niemeier and A. Kruger, "RF Communications in Underwater Wireless Sensor Networks," IEEE International Conference on Electro/Information Technology (EIT), pp. 1-6, Oct., 2010.
- [11] W. Schlager, R. Van Dam, E. Berg, M. Schaap and L. Broekema, Radar Reflections from Sedimentary Structures in the Vadose Zone, Geological Society Special Publication, pp. 257-273, 2003.
- [12] D. Cheng, "Field and Wave Electromagnetics," Addison Wesley Publisher, 2nd edition, Jan., 1989.
- [13] Ali Elrashidi, Abdelrahman Elleithy, Majed Albogame, Khaled Elleithy "Underwater Wireless Sensor Network Communication Using Electromagnetic Waves at Resonance Frequency 2.4 GHz"
- [14] S. I. Inacio, M. R. Pereira, H. M. Santos, L. M. Pessoa, F. B. Teixeira, M. J. Lopes, O. Aboderin, H. M. Salgado, "Dipole antenna for underwater radio communications", IEEE Third Underwater Communications and Networking Conference (UComms), 2016.
- [15] S. I. Inacio, M. R. Pereira, H. M. Santos, L. M. Pessoa, F. B. Teixeira, M. J. Lopes, O. Aboderin, H. M. Salgado, "Antenna Design for Underwater Radio Communications", OCEANS 2016.
- [16] D. A. Abd El-Aziz, T. G. Abouelnaga, E. A. Abdallah, M. El-Said, Yaser S. E. Abdo, "Analysis and Design of UHF Bow-Tie RFID Tag Antenna Input Impedance", Open Journal of Antennas and Propagation, v. 4, pp. 85-107, 2016.

TROPOSPHERIC AND UNDERWATER PROPAGATION AT MICROWAVE FREQUENCIES

Konstantinos N. Alvertos¹, Konsantinos D. Vardakis², Athanasios P. Mitropoulos³,
Evangelia A. Karagianni², Christos N. Vazouras², Michael E. Fafalios²

¹ National and Kapodistrian University of Athens, Department of Informatics and Telecommunication
Panepistimiopolis, Ilisia, 15784, Athens, Greece
E-mail: alvertosk@uoa.gr, Web page: <http://www.uoa.gr>

² Hellenic Naval Academy, Hadjikyriakou Avenue, 18539, Piraeus, Greece
E-mail: {k.vardakis;evka;chvazour;fafalios}@hna.gr, Web page: <http://www.hna.gr/el/section1-electronicslab>

³ Hellenic Navy, 229 Mesogion Av., 15561, Athens, Greece
E-mail: thanosmitrop@yahoo.gr, Web page: <http://www.hellenicnavy.gr/en/fleet.html>

Keywords: Atmospheric Propagation, Bow-Tie Antenna, Microwave Frequencies, Underwater Propagation

Abstract: *Signal attenuation (received signal strength) of electromagnetic waves with the use of a bow-tie antenna in both free space and underwater three-dimensional environment was examined to establish an electromagnetic propagation localization system. A high gain bow-tie antenna is designed and simulated using HFSS software and fabricated using chip materials. The antenna gain underwater is -25 dB at 2.4 GHz, which is very high value for underwater wireless communication to overcome the high path loss due attenuation.*

1 INTRODUCTION

Wireless Communications have been used for over 130 years. The initial telecommunication device was invented in 1880 called the photo phone which carried voice telecommunications optically, using a light beam [1]. Since then technology has forwarded and has made it into one of the most important mediums of transmission of information.

The range of wireless communications varies into IR, RF and satellite which use electromagnetic waves and more specifically microwaves. Microwaves are being used over the air for a variety of applications and distances. The 700 MHz band (694-790 MHz), the 2.4 GHz band (2412 – 2484 MHz) and the 5 GHz (5150 - 5725 MHz) are the main frequency ranges that will have our attention. Also the medium these frequencies are transmitted will show us how the signal changes. In this paper, except measurements presented for free space environment at 2.4 GHz, also simulation results are included for underwater propagation in a controlled environment in order to study the underwater propagation at lower Wi-Fi frequencies.

2 AIR PROPAGATION

Radio propagation is the behavior of radio waves travelling from one point to another, through the atmosphere. For the Free Space Propagation, all electromagnetic waves obey the inverse-Square law which states that the power density P of a wave is proportional to the inverse of the square distance r from the source.

$$P \propto \frac{1}{r^2} \quad (1)$$

One propagation mode that is widely used in practical radio transmission systems is the Direct Mode propagation. Line of Sight uses a direct line from the transmitting antenna to the receiving antenna. Depending on the frequency a clear sight path might not be necessary. For example low frequencies can pass through solid objects without failing connectivity. For microwave frequencies a clear sight path is necessary.

Another mode is the Surface Mode propagation. Groundwave propagation is used for lower frequencies between 30 KHz and 3 MHz. The propagation interacts with the conductive surface of the Earth using vertical polarization (which requires vertical monopole antennas).

K.N. Alvertos, K.D. Vardakis, A.P. Mitropoulos, E.A. Karagianni, C.N. Vazouras, M.E. Fafalios

Last but not least, ionospheric mode is a propagation mode used in practical microwave transmission systems. Skywave propagation, also known as skip, relies on refraction of the wave from the ionosphere. A wave directed at an angle into the sky can be reflected back to Earth beyond the horizon by these layers, allowing long distance communication.

3 UNDERWATER PROPAGATION

A main reason for the underwater study is the replacement of the acoustic technology that has been used for many years. Acoustic technology is suitable for long range communication but the disadvantages that accompany this technology include poor performance in shallow water, impact of the natural movement and living habits of marine life and extremely low bandwidth (tens of Kilobits per second). An alternative that was attempted for implementation were optical systems which offer great bandwidth, no alteration of marine life and immunity concerning water depth but it requires line of sight (LOS), which loses connectivity when there is a presence of suspended particles or turbidity. Systems that use Radio Frequencies (RF Systems) can be used without the need of Line of Sight, it increases bandwidth to the level of hundreds of Megabits (up to 108 Mbits/s). There is a need to estimate, simulate and experiment RF technologies.

3.1 Air and Water Properties

Propagating an electromagnetic wave underwater varies from our default medium (which is air). Several factors come in place but the main ones are conductivity of water and permittivity of water. This results to the need of designing and fabricating specific antennas for the use in underwater environment for appropriate propagation of the electromagnetic wave and have the needed durability to sustain its integrity and operability underwater. Air has a conductivity from $3 \cdot 10^{-13}$ to $8 \cdot 10^{-15}$.

Conductivity of the water can value from $5.5 \mu\text{Sm/m}$ up to 4 Sm/m . To be more precise high quality deionized water values at around $5.5 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/m}$, drinkable water values from $5 \cdot 10^{-6}$ to $5 \cdot 10^{-1} \text{ Sm/m}$ and salt water around 4 Sm/m .

Permittivity of water is relative to the permittivity of vacuum (or known as permittivity of free space). The parameters used here are the temperature of the water and its salinity. Our permittivity varies from 55.720 up to 87.740 [2]. In this specific case the value of 25°C will be used (room temperature) which is 78.304.

3.2 Path Loss

The signal propagation in water depends on the path loss in water. Path loss represents the difference between the transmitted signal power and received signal power. Received power (P_r) as a function of transmitted signal (P_t), underwater path loss and antenna gain at the receiver end is given from the Friis equation [3]:

$$P_r \text{ (dBm)} = P_t \text{ (dBm)} + G_r \text{ (dBm)} + G_t \text{ (dBm)} - L_{\text{pathloss}} \text{ (dB)} \quad (2)$$

where P_t is the transmitted power, G_r and G_t are the gains of the receiver's and transmitter's antenna, L_{pathloss} is the path loss in water.

The path loss can be calculated by the equation [4]:

$$L_{\text{pathloss}} \text{ (dB)} = L_0 \text{ (dB)} + L_w \text{ (dB)} + L_{at} \text{ (dB)} \quad (3)$$

where L_0 is the path loss in air and given by [5]:

$$L_0 \text{ (dB)} = 20 \log \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d \cdot f}{c} \right) \quad (4)$$

where d is the distance between the transmitter and the receiver in meters, f is the operating frequency in Hertz and c is the velocity of light using air as a medium in meters per second.

L_w (dB) is the path loss due to changing in medium and can be calculated by:

$$L_w \text{ (dB)} = 20 \log \left(\frac{\lambda_0}{\lambda} \right) \quad (5)$$

where λ_0 is the signal wavelength using air as a medium and can be calculated by the equation $\lambda_0 = c/f$ and λ is the wave factor and given by the equation $\lambda = 2\pi/\beta$, where β is the phase shifting constant and calculated by the

K.N. Alvertos, K.D. Vardakis, A.P. Mitropoulos, E.A. Karagianni, C.N. Vazouras, M.E. Fafalios
equation:

$$\beta = \omega \sqrt{\frac{\mu \cdot \epsilon'}{2} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\epsilon''}{\epsilon'} \right)^2} + 1 \right)} \quad (6)$$

where ϵ' and ϵ'' are the real and imaginary parts of the complex dielectric constant given by $(\epsilon = \epsilon' - j\epsilon'')$.
 $L_{at}(\text{dB})$ is the path loss due to attenuation in medium and given by:

$$L_{at}(\text{dB}) = 10 \cdot \log(e^{-\alpha \cdot d}) \quad (7)$$

where α is the attenuation constant and calculated as shown in equation 8:

$$\alpha = \omega \sqrt{\frac{\mu \cdot \epsilon'}{2} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\epsilon''}{\epsilon'} \right)^2} - 1 \right)} \quad (8)$$

3.3 Reflection from Water Interfaces

The reflection from the surface and bottom depends on reflection coefficient at both interfaces between “water and air” and “water and bottom” [4]. The reflection coefficient is given by equation 9.

$$\Gamma = \frac{\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1}{\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1} \quad (9)$$

where ρ_1 and ρ_2 are the density of the first and second medium respectively and v_1 and v_2 are the wave velocity in both mediums.

The reflection loss from the surface and from the bottom is given in the equation [5]:

$$L_r = -V(\text{dB}) = -10 \log(V) \quad (10)$$

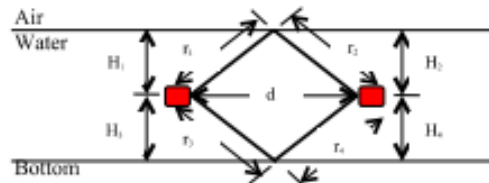
$$V^2 = 1 + \left(|\Gamma| e^{-\alpha \Delta(r)} \right)^2 - 2 |\Gamma| e^{-\alpha \Delta(r)} \cos \left(\pi - \left(\varphi - \frac{2\pi}{\lambda} \Delta(r) \right) \right) \quad (11)$$

where r is the reflected path length, $|\Gamma|$ and φ are the amplitude and phase of the reflection coefficient respectively and $\Delta(r)$ is the difference between r and d .

where r can be calculated as shown below:

$$r = 2 \sqrt{H^2 + \left(\frac{d}{2} \right)^2} \quad (12)$$

The Figure 1 depicts the three-path channel model, including the reflection from both interfaces “air and water” and “bottom and water”.



K.N. Alvertos, K.D. Vardakis, A.P. Mitropoulos, E.A. Karagianni, C.N. Vazouras, M.E. Pafalios

Figure 1. Three-path channel model

where d is the distance between two sensors, H is the distance between surface and sensor and r is the distance between the sensor and the reflection point.

4 EXPERIMENTAL AND SIMULATION PROCESS

In order to ascertain the transmission of electromagnetic radiation in a medium and how it is influenced by the distance, an experiment of the electromagnetic radiation dispersion in the air and in the water was carried out using a Bow-Tie antenna. In order to perform the experiment, the following were used: Model WGR614 v7 Router, TP-LINK TL-WN722N external card with Atheros AR9002U chipset, Acrylic Wi-Fi Home Wi-Fi network finder program, Raspberry Pi 2 TFT with Wi-Fi adapter and a power bank. The operating frequency is Channel 11 (2462 MHz).

The experiment was performed with a chip constructed antenna with and without insulation. We mainly deal with the spread of EM radiation to the atmosphere where the results of the experiment reveal how the power of the transmitted signal is affected depending on the transmitter-receiver distance.

4.1 Bow-Tie Antenna Construction

The Bow-Tie antenna was chosen for the experiment due to its simplicity of construction and its low cost. The antenna was made of a standard 4mm thick monofilament copper wire with insulation, and each side was covered with 0.1mm thick silicone insulation with relative permeability 3. The antenna was then mounted on a copper plate using a special conductive binder material so as to ensure that the antenna performance is not affected. The antenna distance from the copper plate is about 30mm.



Figure 2 (a) The Bow-Tie antenna connection to the external network card. (b) The experiment was performed using Raspberry Pi (for the experiment in the water).

4.2 EM Propagation in Air

The experiment was performed in order to collect data related to the transmission of 2.4-5.1 GHz radio frequency (Wi-Fi frequencies) to different propagation media (air, water) depending on the transmitter-receiver distance and to note how the antenna performance is affected depending on whether it is isolated or not. A Wi-Fi Router was used in a 5-cm calibrated system with a fixed bow-tie antenna on the opposite (figure 2b). For every 5cm we shifted the Router and we recorded the power measurements. The Bow-Tie antenna was connected to the external network card and this in turn to a laptop computer. In contrast to the experiment in the water, the antenna was connected to the Wi-Fi Router and Raspberry Pi was placed in the reservoir in the tank, also in a calibrated system per 5 cm. The data listed below relate only to the part of the experiment in the air.

K.N. Alvertos, K.D. Vardakis, A.P. Mitropoulos, E.A. Karagianni, C.N. Vazouras, M.E. Fafalios

Distance (cm)	AIR WITHOUT INSULATION (dBm)	AIR WITH INSULATION (dBm)
5	-23	-36
10	-24	-30
15	-25	-28
20	-30	-30
25	-33	-32
30	-32	-33
35	-34	-34
40	-32	-36
45	-31	-37
50	-31	-40
55	-34	-42
60	-36	-43
65	-39	-44
70	-42	-48
75	-40	-46
80	-39	-47
85	-37	-47
90	-36	-49
95	-38	-49
100	-40	-50

Table 1. Experiment results



Figure 3. Transmitted power versus distance (antenna with and without insulation)

As we can see from the table and graph data, the antenna performance decreases as the transmitter-receiver distance increases which is expected. We notice a decrease in the signal strength of the antenna as the distance increases, resulting in more losses. We also see difference in the antenna performance when it is insulated or not. From the results of the experiment it appears that in the first 15cm the antenna with insulation exhibits better behavior as the propagation power increases from -36dBm to -28dBm while the insulated antenna shows at the same point a gradual drop in its output from -23dBm to -30dBm. But then the insulated antenna exhibits a continuous reduction in its yield with a steeper inclination than that without insulation. Noteworthy is the fact that the output of the insulated antenna does not show a continuous reduction such as that of the insulated antenna but in certain points it has a gradual rise with peaks such as those at 50cm and 90cm with a power of -31dBm and -36dBm.

4.2 EM Propagation in Water

In order to study EM propagation in water, the same experiment was yielded using a tank with results have been presented in [9] for 2.4 GHz. Because of the high pass loss, the frequency had to be lower. With the use of a special system software (HFSS) a first assessment of the results at lower frequencies (around 700 MHz) is taken as shown in figure 4 and to act as a measure of comparison with the actual results of the experiment.

The results of the experiment using HFSS (High Frequency System Simulator software) are shown in the following figures:

K.N. Alventos, K.D. Vardakis, A.P. Mitropoulos, E.A. Karagianni, C.N. Vazouras, M.E. Pafalios

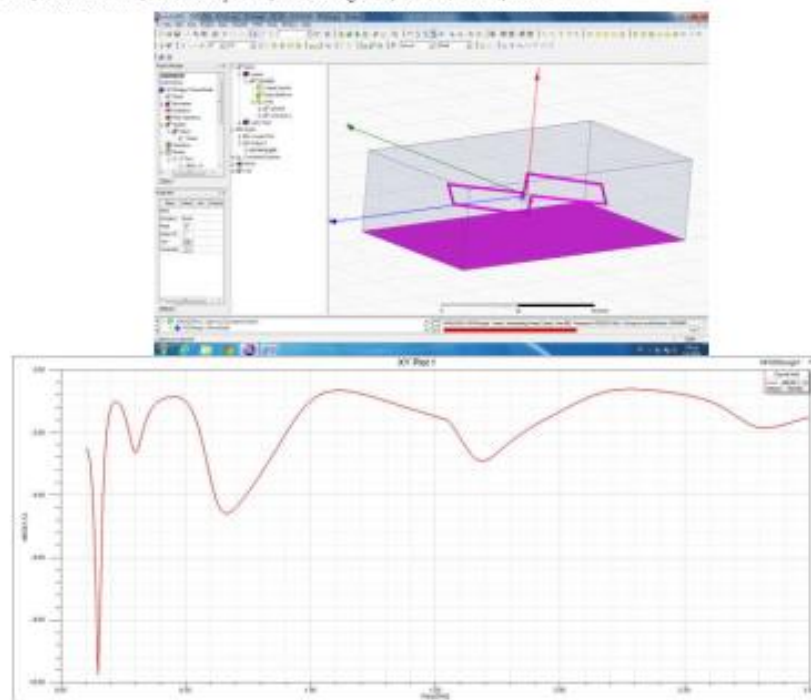


Figure 4. The antenna design and simulation results underwater

It appears that when the antenna emits underwater at 700 and 910 MHz, the received power is -4 and -2 dBm respectively, while in air the corresponding value is -20dBm. We observe that the antenna theoretically responds well with a fractional bandwidth of 20%.

5 CONCLUSIONS

Understanding and simulating the frequency of 700 MHz while also experimenting at the frequency of 2.4 GHz is an opportunity to expand the frequencies used for mobile internet services (700 MHz), Wi-Fi (2.4 and 5 GHz), which are standardized in Europe, in other possible applications for underwater and atmospheric use.

An important result of this work is the drastic change in received power in air and underwater with the use of a bow-tie antenna, insulated and not insulated. The strength of the received signal at the non-insulated antenna when working in air is -23 dBm at 5cm distance. The best performance measured at 50 cm and 90 cm where the signal strength was -30dBm and -35dBm respectively. For longer distances (more than 30cm) the antenna without insulation has 10 dB better performance than the insulated one. Regarding the underwater environment, the insulated antenna has better performance for distances up to 38 cm. The experimental results in freshwater agree well with those obtained through 3D electromagnetic simulations, in terms of the transmission power. So we can conclude that it is possible to predict the operation of the antennas and improve their design.

Understanding, comprehending and studying these specific frequencies can give us new opportunities and lead us to key ideas in order to implement various existing and new technologies in these known frequency bands in both water and air mediums.

REFERENCES

- [1] Bell G. A. Photo phone-transmitter Patent No. US235496 A .
- [2] C. G. Malmberg, A. A. Maryott,, "Dielectric Constant of Water from 0°C to 100°C", Journal of Research National Bureau of Standards, Vol. 56, No. 1, January 1956, Research Paper 2641.

K.N. Alvertos, K.D. Vardakis, A.P. Mitropoulos, E.A. Karagianni, C.N. Vazouras, M.E. Pafalios

- [3] G. Stuber, "Principles of Mobile Communication," Klumer Academic Publishers, 1996, 2001.
- [4] S. Ramo, J. Whinnery and T. Van Duzer, Fields and Water for Communications Electronics, John Wiley and Son, New York, 1994.
- [5] D. Cheng, "Field and Wave Electromagn etics," AddisonWesley Publisher, 2nd edition, Jan., 1989.
- [6] J. Wait, Electromagnetic Wave Theory, Harper and Row, New York, 1985.
- [7] D. Cheng, "Field and Wave Electromagnetics," Addison Wesley Publisher, 2nd edition, Jan., 1989.
- [8] Ali Elrashidi, Abdelrahman Elleithy, Majed Albogame, Khaled Elleithy "Underwater Wireless Sensor Network Communication Using Electromagnetic Waves at Resonance Frequency 2.4 GHz"
- [9] Konstantinos N. Alvertos, Evangelia A. Karagianni, Konstantinos D. Vardakis, Thomas K. Mpountas, Dimitra I. Kaklamani, "Bow-tie antenna for underwater Wireless Sensor Networks", 2017 International Workshop on Antenna Technology: Small Antennas, Innovative Structures, and Applications (iWAT)

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] F. Ricci, An Introduction to Wireless Technologies Part 1, pp.14-21;
<http://www.inf.unibz.it/~ricci/MS/slides-2010-2011/9-WirelessTechnologies-P1.pdf>
- [2] Vipin Podar, Hitesh Choudhary, A COMPARITIVE ANALYSIS OF WIRELESS SECURITY PROTOCOLS (WEP and WPA2); International Journal on AdHoc Networking Systems (IJANS) Vol. 4, No. 3, July 2014
- [3] Konstantinos N. Alvertos, Evangelia A. Karagianni, Konstantinos D. Vardakis, Thomas K. Mpountas, Dimitra I. Kaklamani “Bow-Tie Antenna for Underwater Wireless Sensor Networks”, 2017 International Workshop on Antenna Technology: Small Antennas, Innovative Structures, and Applications (iWAT)
- [4] Konstantinos N. Alvertos, Evangelia A. Karagianni, Konstantinos D. Vardakis, Christos N. Vazouras, Michael E. Fafalios, Athanasios P. Mitropoulos, TROPOSPHERIC AND UNDERWATER PROPAGATION AT MICROWAVE FREQUENCIES, 7th International Conference on “Experiments/Process/System Modeling/Simulation/Optimization” Athens, 5-8 July, 2017
- [5] ΝΔ (ΙV) ΜΗΤΡΟΠΟΥΛΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ, Επίδραση Ειδικών Καιρικών Φαινομένων στην Κατάσταση της Θάλασσας και στις Τηλεπικοινωνίες: Μελέτη Βορείου Ρεύματος και Υετού, ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ, ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΑΧΗΣ, ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ, ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ, ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
- [6] <https://en.wikipedia.org/wiki/Fog>
- [7] <https://en.wikipedia.org/wiki/Rain>
- [8] <https://en.wikipedia.org/wiki/Snow>
- [9] <https://en.wikipedia.org/wiki/Hail>
- [10] <http://en.data-alliance.net/802-11-wifi-types-compared/>