



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
& ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ ΣΕ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙ- ΝΩΝΙΑΚΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙ- ΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

ΜΕΤΡΗΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΒΛΑΧΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΖΥΓΚΙΡΙΔΗΣ

ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Κοζάνη, Οκτώβριος 2022



HELLENIC DEMOCRACY
UNIVERSITY OF WESTERN MACEDONIA
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL
& COMPUTER ENGINEERING

MEASUREMENTS OF ELECTROMAGNETIC FIELDS IN INTERIOR SPACES IN TELECOM- MUNICATION FREQUENCIES AND OPTIMI- ZATION OF MEASUREMENT PARAMETERS

THESIS

Vlachos Panagiotis

SUPERVISOR: Zygiridis Theodoros

Associate Professor

Kozani, October 2022



ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1986 και τα άρθρα 2,4,6 παρ. 3 του Ν. 1256/1982, η παρούσα Διπλωματική Εργασία με τίτλο “Μετρήσεις Ηλεκτρομαγνητικών Πεδίων σε Εσωτερικούς Χώρους σε Τηλεπικοινωνιακές Συχνότητες και Βελτιστοποίηση Παραμέτρων Μέτρησης” καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας και αναφέρονται ρητώς μέσα στο κείμενο που συνοδεύουν, και η οποία έχει εκπονηθεί στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, υπό την επίβλεψη του μέλους του Τμήματος του. Θεόδωρου Ζυγκιρίδη αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή / και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και μόνο.

Copyright © Παναγιώτης Βλάχος, Θεόδωρος Ζυγκιρίδης, 2022, Κοζάνη

Υπογραφή Φοιτητή: _____



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην Ελλάδα πραγματοποιούνται συνεχώς από την Ελληνική Επιτροπή Ατομική Ε-νέργειας (ΕΕΑΕ) χιλιάδες έλεγχοι κυρίως σε σταθμούς βάσης, με σκοπό να συγκρίνουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων με τα όρια, που έχει υιοθετήσει η ελληνική νομοθεσία με σκοπό τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας. Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τη μελέτη των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, αλλά αντί σε σταθμούς βάσης εκπονείται στον εσωτερικό χώρο του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας. Παράλληλα, με το φασματικό αναλυτή Narda SRM - 3006 παρουσιάζονται και αναλύονται οι ενδείξεις σε διάφορες συχνοτικές περιοχές, ελέγχεται η ορθή λειτουργία του και γίνεται η αξιολόγηση με τα όρια ασφαλούς έκθεσης.

Λέξεις Κλειδιά Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία, Ζώνες Συχνότητων, Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου, Φασματικός Αναλυτής, Διακριτική Ικανότητα Ζώνης, Εύρος Μέτρησης, Λόγος Έκθεσης, Όρια Ασφαλούς Έκθεσης, Στατιστική Ανάλυση

ABSTRACT

In Greece, the Hellenic Atomic Energy Commission (EAEE) are continuously carrying out thousands of inspections, mainly at base stations, in order to compare the results of the measurements with the limits adopted by the Greek legislation in order to ensure public health. The present thesis deals with the study of electromagnetic fields, but instead of base stations is carried out in the area of the Department of Electrical and Computer Engineering of the University of Western Macedonia. Along with the Spectrum Analyzer Narda SRM - 3006, we present the measurements in various frequencies services and analyze the correct operation control and their evaluation with the limits of safe exposure.

Keywords Electromagnetic Radiation, Frequency Bands, Electric Field Strength, Spectrum Analyzer, Resolution Bandwidth, Measurement Range, Simultaneous Exposure, Exposure Limits, Statistical Analysis

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όσους συνέβαλαν άμεσα ή έμμεσα στην ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας. Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον υπεύθυνο καθηγητή της διπλωματικής μου κ. Ζυγκιρίδη Θεόδωρο για την συνεχή και αμέριστη στήριξη του και για τις πολύτιμες συμβουλές του.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου, που στάθηκαν δίπλα μου και με βοήθησαν με το δικό τους τρόπο στην ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Κοζάνη, Οκτώβριος 2022

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	6
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	7
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	11
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	14
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	15
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	16
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	18
1.1 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΕΡΕΥΝΩΝ	18
1.2 ΜΕΛΕΤΕΣ ΓΙΑ ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ.....	22
2.1 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ - ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΜΑΧWELL.....	22
2.2 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.....	23
2.2.1 ΜΗ - ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	23
2.2.2 ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	24
2.2.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ.....	25
2.3 ΟΡΙΑ ΑΣΦΑΛΟΥΣ ΕΚΘΕΣΗΣ	26
2.3.1 ΕΠΙΠΕΔΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΙΚΗΣ ΕΝΩΣΗΣ.....	26
2.3.2 ΟΡΙΑ ΑΣΦΑΛΟΥΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑΣ	28
2.3.3 ΛΟΓΟΣ ΕΚΘΕΣΗΣ	31
2.4 ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ.....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΣ ΑΝΑΛΥΤΗΣ ΝΑΡΔΑ SRM - 3006	34
3.1 ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΣ ΑΝΑΛΥΤΗΣ ΝΑΡΔΑ SRM - 3006.....	34
3.2 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΑΝΑΛΥΤΗ	35
3.3 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΤΟΥ ΑΝΑΛΥΤΗ	43
3.4 ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	44
3.5 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΕΕΑΕ	45
3.6 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΣΤΟΝ ΦΑΣΜΑΤΙΚΟ ΑΝΑΛΥΤΗ SRM - 3006.....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	51
4.1 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΡΘΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΑΝΑΛΥΤΗ	51

4.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	58
4.2.1 ΥΠΗΡΕΣΙΑ W-LAN.....	58
4.2.2 ΥΠΗΡΕΣΙΑ GSM 1800	67
4.2.3 ΥΠΗΡΕΣΙΑ FM-RADIO	69
4.2.4 Yagi-Uda Antenna.....	72
4.2.5 ΚΕΡΑΙΑ ΔΙΠΟΛΟΥ	78
4.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ	84
4.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΛΟΓΟΥ ΕΚΘΕΣΗΣ	87
4.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΙΣΧΥΟΣ	90
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	95
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	98

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1 Βασικοί Περιορισμοί Σύστασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την απορροφούμενη ενέργεια στο σώμα ενός ανθρώπου που κατατάσσεται στο γενικό κοινό και εκτίθεται σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στην περιοχή ραδιοσυχνοτήτων

Πίνακας 2.2 Επίπεδα αναφοράς για τα επίπεδα πεδίων στην περιοχή συχνοτήτων 100 kHz – 300 GHz, όπως προκύπτουν μετά την εφαρμογή του συντελεστή μείωσης 70 %, που ορίζεται στην παράγραφο 9 του άρθρου 31 του Νόμου 3431 (ΦΕΚ 13/Α/03-02- 2006), στους βασικούς περιορισμούς του άρθρου 2 της υπ’ αριθμ. 53571/3839/6.9.2000 ΚΥΑ

Πίνακας 2.3 Επίπεδα αναφοράς για τα επίπεδα πεδίων στην περιοχή συχνοτήτων 100 kHz – 300 GHz, όπως προκύπτουν μετά την εφαρμογή του συντελεστή μείωσης 70 %, που ορίζεται στην παράγραφο 9 του άρθρου 31 του Νόμου 3431 (ΦΕΚ 13/Α/03-02- 2006), στους βασικούς περιορισμούς του άρθρου 2 της υπ’ αριθμ. 53571/3839/6.9.2000 ΚΥΑ.(αναφέρονται σε ευαίσθητες περιοχές όπως σχολεία, νοσοκομεία)

Πίνακας 2.4 Επίπεδα αναφοράς της ελληνικής νομοθεσίας για διάφορες περιοχές συχνοτήτων στις οποίες λειτουργούν βασικές τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες.

Πίνακας 3.1 Επιλογές του Φασματικού αναλυτή

Πίνακας 3.2 MEASUREMENT UNCERTAINTY - NARDA SRM - 3006 (27 MHz - 3 GHz)

Πίνακας 3.3 MEASUREMENT UNCERTAINTY - NARDA SRM - 3006 (420 MHz - 6 GHz)

Πίνακας 4.1 E (V/m) / f (Hz)

Πίνακας 4.1.1 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέσης τιμής

Πίνακας 4.1.2 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέγιστης τιμής

Πίνακας 4.1.3 Φορές κάτω από το όριο

Πίνακας 4.2 Full Span

Πίνακας 4.3 Μέτρηση Χωρίς την παρουσία Φοιτητών-Αίθουσα Ηλεκτρονικής

Πίνακας 4.3.1 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέσης τιμής

Πίνακας 4.3.2 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέγιστης τιμής

Πίνακας 4.3.3 Φορές κάτω από το όριο

Πίνακας 4.4 Χωρίς την παρουσία Φοιτητών

Πίνακας 4.4.1 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέσης τιμής

Πίνακας 4.4.2 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέγιστης τιμής

Πίνακας 4.4.3 Φορές κάτω από το όριο

Πίνακας 4.5 Χωρίς την παρουσία Φοιτητών

Πίνακας 4.5.1 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέσης τιμής

Πίνακας 4.5.2 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέγιστης τιμής

Πίνακας 4.5.3 Φορές κάτω από το όριο

Πίνακας 4.6 Με την Παρουσία Φοιτητών

Πίνακας 4.6.1 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέσης τιμής

Πίνακας 4.6.2 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέγιστης τιμής

Πίνακας 4.6.3 Φορές κάτω από το όριο

Πίνακας 4.7 W-LAN

Πίνακας 4.7.1 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέσης τιμής

Πίνακας 4.7.2 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέγιστης τιμής

Πίνακας 4.7.3 Φορές κάτω από το όριο

Πίνακας 4.7.4 Download 3,3 Gb αρχείο από το server των Η.Μ.Μ.Υ του Ε.Μ.Π

Πίνακας 4.7.5 Αποτελέσματα Απομάκρυνσης από πηγή εκπομπής

Πίνακας 4.8 GSM 1800

Πίνακας 4.8.1 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέσης τιμής

Πίνακας 4.8.2 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέγιστης τιμής

Πίνακας 4.8.3 Φορές κάτω από το όριο

Πίνακας 4.9 FM-RADIO

Πίνακας 4.9.1 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέσης τιμής

Πίνακας 4.9.2 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέγιστης τιμής

Πίνακας 4.9.3 Φορές κάτω από το όριο

Πίνακας 4.10 Yagi-Uda

Πίνακας 4.10.1 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέσης τιμής

Πίνακας 4.10.2 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέγιστης τιμής

Πίνακας 4.10.3 Φορές κάτω από το όριο

Πίνακας 4.10.4 Φορές κάτω από το όριο Αποτελέσματα Απομάκρυνσης από πηγή εκπομπής

Πίνακας 4.11 Κεραία διπόλου

Πίνακας 4.11.1 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέσης τιμής

Πίνακας 4.11.2 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέγιστης τιμής

Πίνακας 4.11.3 Φορές κάτω από το όριο

Πίνακας 4.11.4 Φορές κάτω από το όριο Αποτελέσματα Απομάκρυνσης από πηγή εκπομπής

Πίνακας 4.12 W-LAN Υπολογισμός Στατιστικών Μεγεθών

Πίνακας 4.12.1 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέσης τιμής

Πίνακας 4.12.2 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέγιστης τιμής

Πίνακας 4.12.3 Φορές κάτω από το όριο

Πίνακας 4.13 Μέτρηση σε 9 Φασματικές ζώνες - Παρουσία Φοιτητών

Πίνακας 4.14 Μέτρηση σε 9 Φασματικές ζώνες - Αίθουσα ΙΕΕΕ

Πίνακας 4.15 W-LAN - Πυκνότητα Ισχύος

Πίνακας 4.15.1 Αποτελέσματα Έντασης Ηλεκτρικού Πεδίου

Πίνακας 4.16 GSM 1800 - Πυκνότητα Ισχύος

Πίνακας 4.16.1 Αποτελέσματα Έντασης Ηλεκτρικού Πεδίου

Πίνακας 4.17 W-LAN - Εναλλαγές RBW - MR (1)

Πίνακας 4.18 W-LAN - Εναλλαγές RBW - MR (2)

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1 Σήμα Απεικόνισης Προστασίας από την Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία

Εικόνα 2.1 Διάφορες ζώνες συχνοτήτων του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος

Εικόνα 2.3 Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Εικόνα 2.4 Μεταβολή της θερμοκρασίας στο κεφάλι μετά τη χρήση τηλεφώνου

Εικόνα 2.5 Επίπεδα αναφοράς στην έκθεση μη ιοντίζουσας ακτινοβολίας από κάθε χώρα σύμφωνα με τις οδηγίες της ICNIRP στην υπηρεσία GSM 1800.

Εικόνα 3.1 Narda SRM - 3006

Εικόνα 3.2 Κύριο Περιβάλλον SRM - 3006 (Spectrum) E (V/m)

Εικόνα 3.3 Resolution Bandwidth (RBW)

Εικόνα 3.4 W-LAN Service - RBW (1 MHz)

Εικόνα 3.5 W-LAN Service - RBW (100 kHz)

Εικόνα 3.6 GSM Service - MR (1,6 V/m)

Εικόνα 3.7 GSM Service - MR (180 V/m)

Εικόνα 3.8 Safety Evaluation Mode

Εικόνα 3.9 LEVEL RECORDER

Εικόνα 3.10 Διάστημα εμπιστοσύνης

Εικόνα 3.11 Υπολογισμός Τυπικής Αβεβαιότητας ($\frac{\alpha}{\sqrt{3}}$)

Εικόνα 4.1 Παρουσίαση Πειράματος με δύο συσκευές

Εικόνα 4.2 Παρουσίαση Πειράματος στα 0 μ.

Εικόνα 4.3 Yagi-Uda με γεννήτρια συχνοτήτων στα 1 GHz

Εικόνα 4.3 Κεραία Διπόλου με γεννήτρια συχνοτήτων στα 1 GHz

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

- Σχήμα 4.1 Σύγκριση Μέσης και Μέγιστης τιμής $E_{rms, peak}$
- Σχήμα 4.2 Μέση τιμή λόγου έκθεσης W-LAN
- Σχήμα 4.3 Μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης W-LAN
- Σχήμα 4.4 E_{peak}
- Σχήμα 4.5 E_{rms}
- Σχήμα 4.6 Γράφημα Παρουσίασης download αρχείων στα 3.3 Gb
- Σχήμα 4.7 Γράφημα παρουσίασης εξέλιξης απομάκρυνσης από συσκευή E_{peak} (V/m) - x (m)
- Σχήμα 4.8 Γράφημα παρουσίασης εξέλιξης απομάκρυνσης από συσκευή E_{rms} (V/m) - x (m)
- Σχήμα 4.9 Αποτελέσματα W-LAN
- Σχήμα 4.10 Μέση τιμή λόγου έκθεσης GSM 1800
- Σχήμα 4.11 Μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης GSM 1800
- Σχήμα 4.12 Μέση τιμή λόγου έκθεσης FM-RADIO
- Σχήμα 4.13 Μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης FM-RADIO
- Σχήμα 4.14 Μέση τιμή λόγου έκθεσης Yagi-Uda
- Σχήμα 4.15 Μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης Yagi-Uda
- Σχήμα 4.16 Γράφημα παρουσίασης εξέλιξης απομάκρυνσης από συσκευή E_{peak} (V/m) - x (m)
- Σχήμα 4.17 Γράφημα παρουσίασης εξέλιξης απομάκρυνσης από συσκευή E_{rms} (V/m) - x (m)
- Σχήμα 4.18 Αποτελέσματα στη ζώνη GSM 900
- Σχήμα 4.19 Μέση τιμή λόγου έκθεσης Dipole Antenna
- Σχήμα 4.20 Μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης Dipole Antenna
- Σχήμα 4.21 Γράφημα παρουσίασης εξέλιξης απομάκρυνσης από συσκευή E_{peak} (V/m) - x (m)
- Σχήμα 4.22 Γράφημα παρουσίασης εξέλιξης απομάκρυνσης από συσκευή E_{rms} (V/m) - x (m)
- Σχήμα 4.23 Αποτελέσματα Κεραίας διπόλου συναρτήσει της απόστασης
- Σχήμα 4.24 Σύγκριση Στατιστικών Μεγεθών Μέσης και Μέγιστης τιμής
- Σχήμα 4.25 Σύγκριση αποτελεσμάτων με την αύξηση του RBW και του MR
- Σχήμα 4.26 Σύγκριση αποτελεσμάτων με τις διάφορες τιμές του RBW και του MR

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Είναι καθολικά γνωστό πως η άνοδος της τεχνολογίας αντλεί έντονα το ενδιαφέρον του ανθρώπου και για αυτό γίνεται μία κλιμακούμενη αύξηση της επαφής του με την ραγδαία πρόοδο που επιτυγχάνεται. Ωστόσο, εκτρέφονται κάποιοι προβληματισμοί των επιστημόνων, καθώς η καθημερινή έκθεσή του φαίνεται ότι μπορεί να μην είναι ασφαλής. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που παράγεται από τις ασύρματες τεχνολογίες απορροφάται μερικώς από το ανθρώπινο σώμα (SAR), η οποία είναι δύσκολο να καταμετρηθεί σωστά. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στο χαμηλοπερατό φάσμα ή αλλιώς μη - ιοντίζουσα είναι κοινή στο ευρύτερο περιβάλλον του ατόμου, αφού μέσα σε αυτές συμπεριλαμβάνονται τα κινητά τηλέφωνα, το WLAN, οι σταθμοί βάσης, οι κεραιές κ.ά. Όπως αναφέρεται, ο κλάδος της επιστήμης έχει αναζωπυρωμένο ενδιαφέρον, καθώς ευπαθείς ομάδες, βρέφη, έγκυες γυναίκες έχουν ανάγκη να προστατευθούν και γίνεται προσπάθεια να περιοριστούν οι κίνδυνοι που εγκυμονούνται στις περιοχές της μη - ιοντίζουσας ακτινοβολίας και της ιοντίζουσας στις περιοχές 0 - 300 GHz, που παρατηρούνται και οι πιο σοβαροί κίνδυνοι.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην Ελλάδα η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ) είναι το όργανο που επιβλέπει και λαμβάνει αποφάσεις για την προστασία του πληθυσμού από τη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε χαμηλές και σε υψηλές συχνότητες, ώστε να παραμείνουμε σε ένα ασφαλές φασματικό πεδίο. Με γνώμονα των εντολών και των αποφάσεων που έχουν θεσπισθεί, πραγματοποιείται η διπλωματική εργασία με τη ρητή τήρηση των κανονισμών.

Στο **κεφάλαιο 1**, συνοψίζεται σε ξεχωριστά μέρη η βιβλιογραφική αναφορά, περιληπτικά δηλαδή κομμάτια από παρόμοιες μελέτες που πάρθηκαν στοιχεία και αποτέλεσαν έναν έγκυρο οδηγό για να αποκτηθεί μία γενική εικόνα και να αποφευχθούν λάθη στο πειραματικό στάδιο.

Στην παρούσα διπλωματική ορίζεται το βασικό θεωρητικό υπόβαθρο στο **κεφάλαιο 2**, παρέχοντας την απαραίτητη γνώση στο θεωρητικό κλάδο του ηλεκτρομαγνητισμού και στις κεραίες, που βρίσκει εφαρμογή.

Εν συνεχεία, **στο κεφάλαιο 3**, θα παρουσιαστεί ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε. Αυτός είναι ο φασματικός αναλυτής Narda SRM - 3006 μαζί με την ιστροπική κεραία που συνοδεύεται και θα σκιαγραφηθούν οι βασικές λειτουργίες του και τα χαρακτηριστικά, που επιτρέπουν να ληφθούν σωστά δεδομένα.

Στο **κεφάλαιο 4**, θα παρουσιαστούν πίνακες μετρήσεων κατηγοριοποιημένοι σε κανάλια σε διάφορους χώρους του πανεπιστημίου, καθώς και αντίστοιχα διαγράμματα, με σκοπό να γίνει ο υπολογισμός του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου και των στατιστικών μεγεθών. Τα πειράματα έχουν παρόμοια φύση, αλλά πραγματοποιούνται σε διαφορετικούς χώρους και με άλλες συνθήκες, ώστε να διακρίνονται οι ορθές λειτουργίες των συσκευών, του αναλυτή, αλλά και να διακρίνεται αν τηρούνται τα όρια.

Τέλος, στο τελευταίο **κεφάλαιο 5**, θα συνοψιστεί το υλικό και λαμβάνοντας υπόψη τις μετρήσεις των πινάκων και των διαγραμμάτων, θα αξιολογηθεί το υλικό, ώστε να διαπιστωθεί ο έλεγχος καλής λειτουργίας, η τήρηση των ορίων με τα επίπεδα αναφοράς και θα αναφερθούν τα πιο εύλογα συμπεράσματα από όλη την πειραματική διαδικασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

1.1 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΕΡΕΥΝΩΝ

Στο κεφάλαιο «βιβλιογραφική ανασκόπηση» επιλέγονται μελέτες που αφορούν την εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και έχουν ως κοινή αφετηρία να ελεγχθεί αν τηρούνται τα όρια ασφαλούς έκθεσης.

Οι μελέτες διαχωρίζονται βάσει του κύριου περιεχομένου που ασχολούνται.

- Επεξεργασία έτοιμων αποτελεσμάτων από σταθμούς βάσης κεραιών
- Μέτρηση σε εσωτερικούς χώρους
- Αναφορές επιδράσεων στην ανθρώπινη υγεία

1.2 ΜΕΛΕΤΕΣ ΓΙΑ ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ

1) Ο Αβραάμ (2014) [1] πραγματοποίησε έρευνα επιλέγοντας δεδομένα από 3775 σταθμούς βάσης σε όλη την Ελλάδα την περίοδο 2008 - 2013. Μελετήθηκε ο λόγος έκθεσης στο αστικό, ημιαστικό και αγροτικό περιβάλλον στις ζώνες συχνοτήτων TV, FM, GSM, DCS, UMTS και πάρκα κεραιών σε αγροτικό περιβάλλον. Στο αγροτικό περιβάλλον παρατηρήθηκε ότι έχει μεγαλύτερη μέση τιμή 0,007, σε σχέση με το ημιαστικό 0,003. Η μέση τιμή του συνολικού λόγου έκθεσης είναι πολύ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη μέση τιμή στο αστικό αντίστοιχα 0,015. Από το 95 % των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στο αγροτικό περιβάλλον έχει συνολικό λόγο έκθεσης μικρότερο ίσο από 0,0088, ενώ για το αστικό το 95 % των μετρήσεων έχει συνολικό λόγο έκθεσης μικρότερο ή ίσο από 0,049. Συμπεραίνεται ότι σε μέγιστη τιμή στο αστικό υπερβαίνεται ο λόγος έκθεσης στο $\lambda = 1,5$, το οποίο αποτελεί παράδοξο καθώς παρατηρείται σπάνια η υπέρβαση των ορίων. Στις ζώνες (TV, FM, GSM, DCS, UMTS), δεν υπερβαινόταν ο λόγος έκθεσης με $\lambda \leq 0,006$, αλλά παρατηρήθηκε στα αστικά κέντρα (GSM, DCS, UMTS) μεγαλύτερος λόγος έκθεσης, αφού έχουν πιο πυκνό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Τέλος, στα πάρκα κεραιών διαπιστώνεται ότι στο 95 % των μετρήσεων ο συνολικός λόγος έκθεσης παρατηρήθηκε $\leq 1,72$, ενώ η μέγιστη τιμή διαπιστώθηκε ότι ήταν ίση με 3,04.

2) Η Ψυχωγιού (2011) [2] πραγματοποίησε έρευνα για την έκθεση στα RF ηλεκτρομαγνητικά πεδία για μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη Θεσσαλονίκη με τους αναλυτές PEMs, το EME Spy 121 και το EME Spy 140, καθώς επίσης και με τον φασματικό αναλυτή Narda SRM – 3000. Συνέκρινε την έκθεση στα RF ηλεκτρομαγνητικά πεδία που μετρήθηκε σε αστικές και ημιαστικές περιοχές διάφορων ευρωπαϊκών χωρών. Επίσης, συνέκρινε τα αποτελέσματα των πεδιομέτρων και του φασματικού αναλυτή ανάλογα με την απόσταση.

Στις υπηρεσίες FM, TV, GSM, DCS και UMTS, παρατηρήθηκαν μεγαλύτερες τιμές από τις ευρωπαϊκές χώρες, καθώς το EME sry 140 έχει χαμηλότερο όριο ανίχνευσης σε σχέση με το EME sry 121. Η E_{max} (V/m) ήταν 0,30 V/m, ενώ με αποτελέσματα 24ωρης βάσης η E_{max} σε εσωτερικά σπιτιών, χώρους εργασίας, σχολεία κλπ. δεν ξεπερνούσε το 1 V/m, εκτός από τους εργασιακούς χώρους GSM 900, όπου E (V/m) ήταν ≥ 1 V/m. Παράλληλα, παρατηρήθηκε ότι $0,1 < E < 1$ στη GSM 1800 σε σχολική αίθουσα, ενώ στις αναφορές δεν εμφανίστηκαν τιμές μεγαλύτερες από 0,1 V/m. Τέλος, όπως και στους σταθμούς βάσης, έτσι και στις ζώνες DECT, W-LAN, η απομάκρυνση των εκθεσιομέτρων από την πηγή ηλεκτρομαγνητικού πεδίου μειώνει την E (V/m) κάτι το οποίο είναι λογικό.

3) Ο Μανίκας (2011) [3] πραγματοποίησε έρευνα μετρήσεων στο φάσμα μη-ιοντίζουσας ακτινοβολίας 100 kHz - 3 GHz μέσω του προγράμματος EPMHΣ, που καταγράφει σε 24ωρη βάση, σε τακτά χρονικά διαστήματα την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και γίνεται αναφορά στο φασματικό αναλυτή SRM 3000, με τον οποίο υλοποιούνται οι μετρήσεις. Μέσω του EPMHΣ παρατηρήθηκε ότι τα όρια τηρούνται, αφού η μεγαλύτερη τιμή πυκνότητας ισχύος που προέκυψε ήταν 10,3 φορές κάτω από τα όρια. Από τις μετρήσεις διαφαίνεται ότι η μέση τιμή λόγου έκθεσης είναι μεγαλύτερη στις αστικές περιοχές, οι οποίες διαθέτουν μεγαλύτερο δίκτυο κεραιών, σε σχέση με τα ημιαστικά και τα αγροτικά περιβάλλοντα. Τέλος, οι ζώνες κινητής τηλεφωνίας παρουσίασαν τις μεγαλύτερες τιμές και ακολουθεί η ραδιοφωνική συχνότητα FM.

4) Ο Στυλιανός (2013) [4] διεξήγαγε έρευνα, η οποία πραγματεύεται αρχικά τις αρχές που καθορίζουν ένα σχήμα δοκιμών ικανότητας, δηλαδή την αξιολόγηση της επάρκειάς του και τη βελτίωση της επίδοσής του σε ένα συγκεκριμένο πεδίο μετρήσεων, ώστε να καταγραφούν τα αποτελέσματα και να συγκριθούν με τα επίπεδα αναφοράς της διεθνούς νομοθεσίας. Ύστερα, εκτελούνται δύο πειράματα, ένα για τις χαμηλές ζώνες συχνοτήτων και ένα για τις πιο υψηλές ζώνες συχνοτήτων μη-ιοντίζουσας ακτινοβολίας. Γίνεται αναφορά στα αποτελέσματα των εργαστηρίων, στους στατιστικούς δείκτες όσων έλαβαν μέρος και γίνεται προσπάθεια βελτιστοποίησης των αποτελεσμάτων. Για τη μέτρηση των χαμηλών συχνοτικών περιοχών χρησιμοποιήθηκαν τα EFA - 300, PMM 8053A, ενώ για τις υψηλότερες ζώνες τα SRM - 3000 και SRM - 3006, EMR - 300 και FSH6 με την κεραία HE200. Από τα εργαστήρια παρατηρήθηκε ότι απόλυτα ικανοποιητική επίδοση είχαν ένα ποσοστό της τάξεως κάτω από 5 %, μερικώς ικανοποιητική 5 % - 10 %, ενώ πάνω από 10 % μη ικανοποιητική.

5) Η Ε.Α.Ε.Ε (2020) [5] πραγματοποίησε μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στο ξενοδοχείο FILOXENIA με εργαλείο μέτρησης τον αναλυτή Narda SRM 3006 στις συ-

χνοτικές περιοχές 27 MHz - 3 GHz και αντίστοιχα στις 470 MHz - 6 GHz με δύο ισοτροπικές κεραιές μέτρησης υψηλών συχνοτήτων. Έπειτα, παρουσιάστηκε η ένταση ηλεκτρικού πεδίου και η πυκνότητα ισχύος, ώστε από αυτήν να ελεγχθούν τα όρια ασφαλούς έκθεσης. Παράλληλα, υπολογίστηκε η συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα και η διευρυμένη αβεβαιότητα λόγου έκθεσης. Ως αποτέλεσμα της έρευνας, παρουσιάστηκε ότι και με τις δύο κεραιές τηρούνται τα όρια με συνολικό λόγο έκθεσης για τη φασματική περιοχή 27 MHz - 3 GHz, $9,3 \cdot 10^{-4}$, δηλαδή συνολικά 1073,01 φορές κάτω από το όριο. Αντίστοιχα, στη συχνοτική περιοχή 470 MHz - 6 GHz εμφάνισαν συνολικό λόγο έκθεσης $1,01 \cdot 10^{-3}$, δηλαδή συνολικά 994,85 φορές κάτω από το όριο.

6) Οι Κάππας, Γουρζουλίδης & Τυράκης (2018) [6] πραγματοποίησαν έρευνα στις ELF χαμηλές συχνότητες και αντίστοιχα RF ραδιοσυχνότητες στο Υπουργείο Παιδείας, Έρευνας & Θρησκευμάτων με σκοπό να συγκριθούν με τα επίπεδα αναφοράς της ελληνικής νομοθεσίας. Για την έρευνα χρησιμοποιήθηκε ο φασματικός αναλυτής SRM 3006 της Narda. Τα αποτελέσματα που εξήγαγαν για τις περιοχές 27 MHz - 3 GHz συνολικά κάτω από το όριο σε όλους τους χώρους του υπουργείου κυμαίνονταν από 10010 έως 11147, σε σύγκριση με το πιο αυστηρό όριο 60 % της Ε.Ε. Αντίθετα, για την περιοχή ELF και σε χώρους εργαζομένων κυμαίνονται από 1,58 % - 4,72 % του ορίου ασφάλειας και στον υποσταθμό Παροχής Ηλεκτρικής Ενέργειας 35 % σύμφωνα με τα επίπεδα αναφοράς.

7) Ο Δουληγέρης (2017) [7] διεξήγαγε μετρήσεις στο Γενικό Νοσοκομείο Ρεθύμνης, με μονάδα υλοποίησης των μετρήσεων το πεδιόμετρο της Narda SRM - 3006. Τα συμπεράσματα που εξήγαγε ο συντάκτης αναφέρουν ότι τα όρια τηρούνται, δεδομένου ότι ο υψηλότερος συνολικός λόγος έκθεσης που παρουσιάστηκε ήταν $1,0932 \cdot 10^{-4}$.

8) Οι Onishi et al. (2021) διεξήγαγαν έρευνα παρακολούθησης των χαμηλών συχνοτήτων ELF στην Ιαπωνία, δεδομένης της ανησυχίας που έχουν προκαλέσει οι πιθανές επιπτώσεις στην υγεία και παράλληλα έγινε σε χώρους που είχαν γίνει μελέτες την περίοδο 2006-07 σε αστικές και ημιαστικές περιοχές. Η μέθοδος μέτρησης πραγματοποιήθηκε με τον αναλυτή Narda SRM - 3006. Ως εκ τούτου, διαφαίνεται ότι στις αστικές περιοχές ο θόρυβος είναι μεγαλύτερος από 7 dB από ότι στις ημιαστικές περιοχές. Επιπλέον, στο εμπορικό κέντρο ο θόρυβος στις ζώνες 2 GHz - 3,5 GHz είναι αυξημένος από τα παραπάνω συγκροτήματα. Ταυτόχρονα, η υπηρεσία ISM στα 2,4 GHz παρουσιάζει ίδιες τιμές με τη ζώνη των 2 GHz, ενώ στο ISM 5 GHz ο θόρυβος κυμαίνεται 5 dB - 9 dB μικρότερος. Τα αποτελέσματα αυτά συγκρίθηκαν με τα επίπεδα αναφοράς της Ιαπωνίας και τα όρια είναι κατά -20 dB μικρότερα από το ενδιάμεσο πεδίο. Σε σύγκριση με το 2006-07 ο θόρυβος του πεδίου έχει αυξηθεί

κατά 20,3 dB, αν και υπάρχουν διαφορές στη διαδικασία που πάρθηκαν οι μετρήσεις [8].

9) Ο Kurnaz, Yildiz & Karagol (2018) [9] πραγματοποίησαν έρευνα στην EMF ακτινοβολία σε 46 διαφορετικές περιοχές στην Τουρκία. Χρησιμοποιώντας τον μετρητή της Narda SRM 3006, καθώς και τον μετρητή EMR PMM 8053 στις ζώνες 10 kHz - 3 GHz, ώστε να αξιολογηθούν οι τιμές της έντασης ηλεκτρικού πεδίου. Οι υψηλότερες τιμές κυμαίνονται για $E_{avg} = 9,45$ V/m και για $E_{max} = 17,53$ V/m, ενώ φαίνεται μέσα από τα διαγράμματα αποτελεσμάτων ότι τη μεγαλύτερη συνεισφορά στην ένταση του ηλεκτρικού πεδίου έχει η υπηρεσία UMTS 2100 με συνεισφορά στο 43,6 %. Τέλος, δοκιμάστηκε στο τελευταίο στάδιο ένα μαθηματικό μοντέλο που εκτίμησε την E με ακρίβεια 95 %, όπου τις πρωινές ώρες στην UMTS 2100 αυξανόταν η συνεισφορά στο 48,9 % σε σύγκριση με τις απογευματινές μετρήσεις.

10) Οι Habinakoca et al. (2016) [10] υλοποίησαν μελέτη για την αξιολόγηση των επιπέδων ραδιοσυχνότητας RF 1788,5 MHz με μέγιστη τιμή 30 V/m, στο τμήμα Medical Biophysics of Jessenius Faculty στο Martin. Στο πείραμα έλαβαν μέρος 44 έφηβοι σχολείου στο Martin, ενώ επιλέχθηκε ο αναλυτής της Narda SRM 3006 για τις μετρήσεις των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. Το πείραμα εκτελέστηκε σε διάρκεια 6 λεπτών για κάθε μέτρηση, ενώ πάρθηκαν 8 μετρήσεις για κάθε έφηβο γύρω από το κεφάλι. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η πυκνότητα ισχύος στο αριστερό μέρος του κεφαλιού χαρακτηρίζεται από ασθενέστερες τιμές, σε σχέση με τη δεξιά πλευρά, που εμφάνισε τιμές $p < 0,01 - 0,001$. Αυτό αποτελεί και λογικό συμπέρασμα, καθώς επιβεβαιώνεται ότι το κάθε άτομο έχει διαφορετικό βαθμό απορρόφησης. Στην κροταφική περιοχή, τέλος, έγινε αντιληπτός ο μεγαλύτερος βαθμός απορρόφησης.

11) Ο Gledhill (2014) [11] διεξήγαγε έρευνα σε δύο σχολεία της Νέας Ζηλανδίας στις RF ραδιοσυχνότητες στην υπηρεσία του W-LAN, τόσο από τα σημεία πρόσβασης στο διαδίκτυο, τόσο και από τις συσκευές που εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε αυτές τις υπηρεσίες. Η έρευνα αποτυπώνει τα συμπεράσματα των αποτελεσμάτων, γίνεται σύγκριση με τα όρια ασφαλούς έκθεσης της Νέας Ζηλανδίας και με αντίστοιχες μελέτες από άλλα κράτη σε συνδυασμό με το πεδιόμετρο Narda SRM - 3006. Η έρευνα έδειξε ότι σε μέσο όρο έξι λεπτών σε όλο το φάσμα ο συνολικός λόγος έκθεσης ήταν 0,024 %, δηλαδή περίπου τέσσερις χιλιάδες φορές κάτω από τα θεσμοθετημένα όρια. Ταυτόχρονα, σε σημείο υπηρεσίας του Wi-Fi η τιμή του ορίου παρουσιάστηκε 10000 φορές κάτω από αυτό, ενώ σε αίθουσες με μειωμένη ισχύ, η έκθεση ήταν αναμενόμενα πιο χαμηλή. Οι μετρήσεις που λήφθηκαν από τις φορητές συσκευές έδειξαν και αυτές μέσο όρο μικρότερες από το 0,001 %, δηλαδή 100.000 φορές κάτω από το επίπεδο αναφοράς. Τέλος, τα στοιχεία των διεθνών μελετών συνάδουν με αυτά της Νέας Ζηλανδίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

2.1 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ - ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ MAXWELL

Η θεωρία του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου θεμελιώθηκε πλήρως από τον James Clerk Maxwell, ο οποίος κατάφερε να περιγράψει τη φύση των μεγεθών του ηλεκτρομαγνητισμού. Όπως προσδιορίζεται και σαν ονομασία πρόκειται για δύο αλληλένδετα μεγέθη, το ηλεκτρικό και το μαγνητικό.

Το ενδιαφέρον στοιχείο είναι ότι το παλλόμενο ηλεκτρικό φορτίο δεν διαταράσσει μόνο το ηλεκτρικό πεδίο, αλλά δημιουργεί και ένα παλλόμενο μαγνητικό πεδίο και αντίστροφα.

Τα κινητά τηλέφωνα, τα καλώδια ρεύματος, οι οθόνες υπολογιστών κ.ά. είναι παραδείγματα εξοπλισμού που παράγουν ηλεκτρομαγνητικά πεδία.

Παράλληλα, υποστηρίζει ότι το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο μπορούν να διαδοθούν στο χώρο με τη μορφή κυμάτων, εισάγει την έννοια του ρεύματος μετατόπισης και συμπεραίνει ότι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται στο κενό με την ταχύτητα του φωτός.

Ο Maxwell περιέγραψε επίσης με εξισώσεις τη σχέση μεταξύ των δύο μεγεθών. Με την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου E (V/m), την ένταση του μαγνητικού H (A/m), τη μαγνητική επαγωγή B (W_b/m^2), καθώς και με την πυκνότητα ρεύματος J_c (A/m^2) και την πυκνότητα φορτίου ρ_v (C/m^3) είναι γνωστή η τιμή τους στον χώρο και στον χρόνο [12] [13].

Νόμος Ampere:

$$\nabla \times H = J_c + \frac{\partial D}{\partial t}$$

Νόμος Faraday:

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$$

Νόμος του Gauss:

$$\nabla \cdot D = \rho_v$$

$$\nabla \cdot B = 0$$

2.2 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

2.2.1 ΜΗ - ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Μη ιοντιζούσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ονομάζεται η ποσότητα ενέργειας ηλεκτρικών και μαγνητικών κυμάτων, που ταλαντώνονται στον χώρο κάθετα μεταξύ τους και κάθετα προς τη διεύθυνση διάδοσης. Έχουν ταχύτητα ως μορφή κυμάτων $c = 2,998 \cdot 10^8$ m/s.



Εικόνα 2.1 Σήμα Προστασίας από την Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία [14]

Αυτή η μορφή ακτινοβολίας δεν είναι ικανή να παράγει μεγάλη ποσότητα ενέργειας, ωστόσο είναι ικανή να επιφέρει θερμικές ή και χημικές επιδράσεις, για αυτό σε χώρους που εκπέμπεται επικίνδυνη ποσότητα, τοποθετείται το αντίστοιχο σήμα προστασίας (Εικόνα 2.1). Η κατηγορία αυτή αφορά ακτινοβολίες που εκπέμπονται κατά κύριο λόγο από κεραιές κινητής τηλεφωνίας, από την τηλεοπτική και ραδιοφωνική συχνότητα, μεταφορές ηλεκτρικής ενέργειας, ραντάρ κ.ά. (Εικόνα 2.2) [14].

Μπάντα	Συντομογραφία	Συχνότητα	Μήκος κύματος	Χρήση
Άκρως Χαμηλές Συχνότητες	ELF	3 - 30 Hz	100,000 km - 10,000 km	Υπόηχοι
Λίαν Χαμηλές Συχνότητες	SLF	30 - 300 Hz	10,000 km - 1000 km	Επικοινωνία υποβρυχίων.
Υπερχαμηλές Συχνότητες	ULF	300 - 3000 Hz	1000 km - 100 km	Συχνότητες φωνής, υπέρηχοι.
Πολύ Χαμηλές Συχνότητες	VLF	3 - 30 KHz	100 km - 10 km	
Χαμηλές Συχνότητες	LF	30 - 300 KHz	10 km - 1 km	Ραδιοφωνία, ραδιοερασιτέχνες, στρατιωτικές και ναυτιλιακές εφαρμογές, αεροναυτικές επικοινωνίες, ραδιοφάροι, ιατρικά εμφυτεύματα, CB, ραδιοτηλετυπία
Μεσαίες Συχνότητες	MF	300 - 3000KHz	1 km - 100 m	
Υψηλές Συχνότητες	HF	3 - 30 MHz	100 m - 10 m	
Πολύ Υψηλές Συχνότητες	VHF	30 - 300 MHz	10 m - 1m	Ραδιοφωνία, TV, ραδιοερασιτέχνες, ραδιομικρόφωνα, αμυντικά συστήματα.
Υπερυψηλές Συχνότητες	UHF	300 - 3000 MHz	1 m - 10 cm	TV, ραδιοερασιτέχνες, WLAN, radar, PMR, μικροκυματικοί αναμεταδότες, κινητά τηλέφωνα, DECT, GPS.
Λίαν Υψηλές Συχνότητες	SHF	3 - 30 GHz	10 cm - 1 cm	Δορυφορική ραδιοπλοήγηση, δορυφορική εξερεύνηση της γης, MVDS, ραντάρ, ραδιοερασιτέχνες, ραδιοαστρονομία, μικροκυματικοί αναμεταδότες, σταθερή δορυφορική.
Άκρως Υψηλές Συχνότητες	EHF	30 - 300 GHz	1 cm - 1 mm	
Χιλιοστομετρικά Κύματα		300 GHz - 3 THz	1 mm - 100 μm	
Υπέρυθρο		3 THz - 400 THz	100 μm - 750 nm	Νυκτερινή όραση, θερμογραφία, υπέρυθρη επικοινωνία IrDA, φασματοσκοπία, θέρμανση.
Ορατό Φως		400 THz - 700 THz	750 nm - 380 nm	Ορατή ακτινοβολία από το ερυθρό ως το ιώδες.
Υπεριώδες (UV)		700 THz - 30 PHz	380 - 10 nm	Black lights, λάμπες φθορίου, ανιχνευτές φωτιάς, εντομοκτόνα.
Ακτίνες X		30 PHz - 3EHZ	10 nm ~ 100 pm	Ακτινογραφίες, ανίχνευση ασθενειών, ραδιοθεραπεία.
Ακτίνες Γ		> 2.42 EHz	124 pm ~ 1 pm	Αποστείρωση εργαλείων, θεραπεία τύπων καρκίνου, πυρηνική ιατρική.

Εικόνα 2.2 Διάφορες ζώνες συχνοτήτων του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος [15]

2.2.2 ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

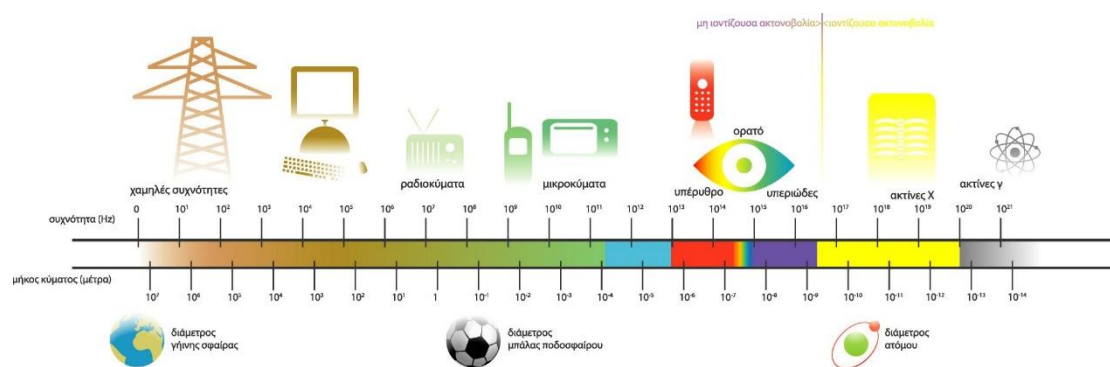
Αντίθετα, οι ιοντίνουζες είναι ακτινοβολίες που έχουν ποσοστά ενέργειας που προκαλούν ιοντισμό. Με λίγα λόγια έχουν την ικανότητα να επηρεάσουν τον άνθρωπο μέσω βιολογικών διαταραχών στον κυτταρικό ιστό του.

Οι πιο διαδεδομένες πηγές είναι οι ακτίνες X, οι οποίες βρίσκουν εφαρμογή στην ιατρική και οι ακτίνες α, β και γ που εκπέμπονται από τους ασταθείς πυρήνες ατόμων των ραδιενεργών στοιχείων.

Ακτινοβολία α: Απαρτίζεται από δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια και προκύπτει μέσα από τη σύζευξή τους. Εξαιτίας του θετικού φορτίου που έχει, εφαρμογές στη φυσική χρησιμοποιούν την ακτινοβολία τύπου α και έχει μικρό ποσοστό κινδύνου ανίχνευσης.

Ακτινοβολία β: Προηγείται σε βαθμό επικινδυνότητας από την ακτινοβολία α. Αποτελείται από ηλεκτρόνια ή θετικά φορτισμένα ποζιτρόνια. Είναι σημαντικό να αποφεύγεται η έκθεση σε αυτήν, διότι σε διαφορετική περίπτωση μπορεί να προκαλέσει ζημιογόνες επιπτώσεις στα μάτια και στο δέρμα σε εξωτερικό και εξωτερικό χώρο.

Ακτινοβολία X και γ: Βρίσκονται στο ανώτερο άκρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (Εικόνα 2.3) και έχουν συχνότητες στις υψηλές περιοχές των $100 \cdot 10^9$ Hz. Διεisdύουν πολύ πιο εύκολα από τις ακτίνες β και εμπεριέχουν κίνδυνο και σε εξωτερική, αλλά και σε εσωτερική έκθεση [16].

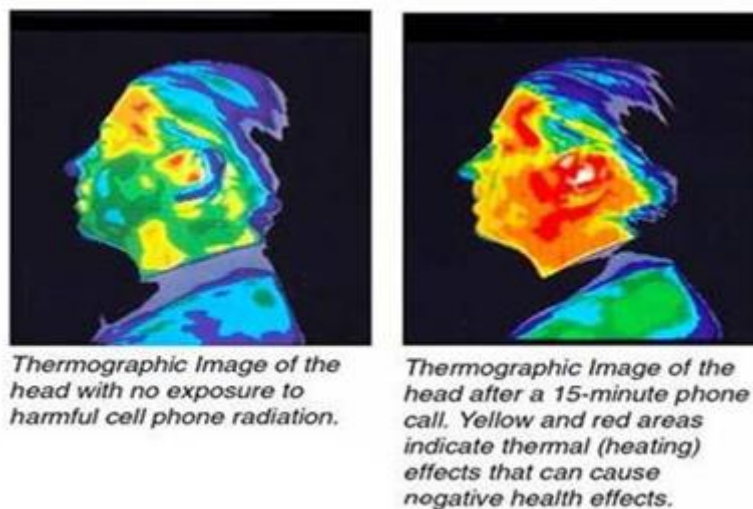


Εικόνα 2.3 Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα [17]

2.2.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

Οι βιολογικές επιδράσεις των μη - ιοντιζουσών ακτινοβολιών διαφέρουν από αυτές της ιοντίζουσας ακτινοβολίας, καθώς φέρουν μικρότερη ενέργεια, η οποία δεν μπορεί να προκαλέσει άμεσα σοβαρές βλάβες στον οργανισμό.

Οι μη - ιοντίζουσες ακτινοβολίες που είναι το αντικείμενο της διπλωματικής, είναι έκδηλες κατά τη διάρκεια της έκθεσης ή μετά τον τερματισμό της έκθεσης στην ακτινοβολία. Αν και μεταφέρουν μικρότερες ποσότητες ενέργειας, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να υπάρχει προστασία και περιορισμοί στην έκθεση σε αυτές. Κάθε οργανισμός λειτουργεί διαφορετικά, διότι όλοι οι άνθρωποι κατανέμονται σε κατηγορίες ανάλογα με την ηλικία και παράλληλα με την κατάσταση της υγείας. Οι ηλικιωμένοι, οι καρκινοπαθείς, οι ασθενείς στο γενικό σύνολο, οι έγκυες και τα μικρά παιδιά είναι προτεραιότητα να εξασφαλιστεί η απουσία τους από τις βλαβερές περιοχές της ακτινοβολίας.



Εικόνα 2.4 Μεταβολή της θερμοκρασίας στο κεφάλι μετά τη χρήση τηλεφώνου [18]

Η υπεριώδης ακτινοβολία προκαλεί άμεσο κίνδυνο στον ανθρώπινο οργανισμό, προκαλώντας ενδεχομένως βλάβη στο δέρμα και στην περιοχή των ματιών (Εικόνα 2.4).

Παρ' όλα αυτά, μπορούμε να έχουμε καλύτερα δεδομένα και στις δύο περιοχές συχνοτήτων από την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου. Έκθεση σε μεγαλύτερη τιμή έντασης, αλλά και μακροσκελή έκθεση στην ακτινοβολία είναι πιο πιθανό να προκαλέσουν προβλήματα.

Οι συντελεστές ασφάλειας που θα παρουσιαστούν αργότερα έχουν σε μεγάλο βαθμό οριοθετηθεί. Τα πρότυπα αναφοράς έχουν οριστεί από την ευρωπαϊκή ένωση, ωστόσο η Ελλάδα ακολουθεί πιο αυστηρούς περιορισμούς [19].

2.3 ΟΡΙΑ ΑΣΦΑΛΟΥΣ ΕΚΘΕΣΗΣ

Από το 1970, η επιστημονική κοινότητα μελετά και επεξεργάζεται τα δεδομένα της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας. Η ICNIRP, διεθνής φορέας, εκδίδει οδηγίες και προτροπικές συμβουλές για την ατομική προστασία και τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας μακροπρόθεσμα.

Ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας έχει θέσει τα όρια ασφαλούς έκθεσης και βάσει αυτού έχει τονιστεί ότι δεν υπάρχουν καταγραφές που να αποδεικνύεται η βλαβερή επίπτωση των ραδιοσυχνοτήτων από κεραίες κινητών τηλεφώνων [20].

2.3.1 ΕΠΙΠΕΔΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΙΚΗΣ ΕΝΩΣΗΣ

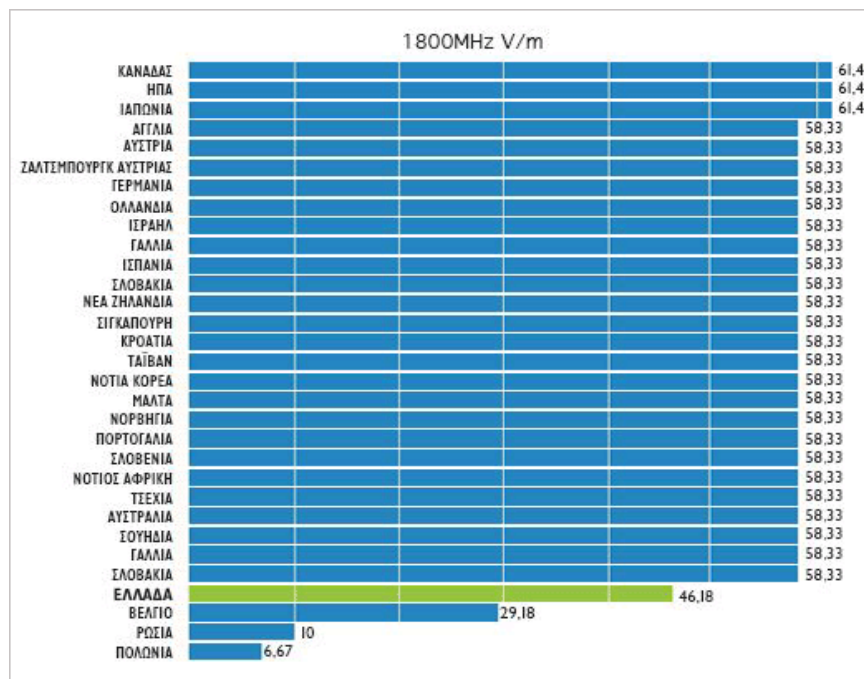
Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ωθηθεί να θεσπίσει τα επίπεδα αναφοράς προστασίας των πολιτών. Αυτό γίνεται σε συνεργασία με την ICNIRP (International Commission on Non - Ionizing Radiation Protection) - Διεθνή Επιτροπή για την προστασία από τις μη ιονίζουσες ακτινοβολίες, η οποία συμβουλεύει ως φορέας την ευρωπαϊκή ένωση και με την προτροπή της ορίζονται τα ανώτατα όρια ασφάλειας (Πίνακας 2.1).

Η INCIRP επανεξετάζει τις οδηγίες της και εξετάζει και άλλες διεθνείς βιβλιογραφίες, ώστε να μην προκληθούν βλάβες στην ανθρώπινη υγεία κάτω από τα όρια.

Είναι ανάγκη να σημειωθεί ότι ομάδες πληθυσμού που είναι πιο ευπαθείς, πιθανόν εκθέτονται σε ήδη επιβαρυσμένους χώρους και για αυτό οι ειδικοί επέλεξαν έναν συντελεστή ασφάλειας 50 στη θέσπιση των ορίων έκθεσης του κοινού. Έτσι, προέκυψε ο βασικός περιορισμός για την έκθεση του κοινού σε $0,08 \frac{W}{kg}$. Για να μην υπάρχουν περιοχές του σώματος στις οποίες να εμφανίζεται τοπικά υψηλή απορρόφηση ενέργειας προβλέπονται οι περιορισμοί και για τον μέγιστο τοπικό ρυθμό απορρόφησης σε $2 \frac{W}{kg}$ για το κεφάλι και τον κορμό του σώματος και $4 \frac{W}{kg}$ στα άκρα. Παράλληλα, έχουν θεσπιστεί από την Ελλάδα οι συντελεστές μείωσης 60 %, που αφορά τις ευπαθείς ομάδες και 70 % που αφορά τις υπόλοιπες κοινωνικές ομάδες [21].

Πίνακας 2.1 Βασικοί περιορισμοί της Σύστασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την απορροφούμενη ενέργεια στο σώμα ενός ανθρώπου που κατατάσσεται στο γενικό κοινό και εκτίθεται σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων.

Φυσικό Μέγεθος	Τιμές E. E $\left(\frac{mA}{m^2}\right)$	Ελληνική νομοθεσία	Ελληνική νομοθεσία
-	-	Αυστηρότερο Επίπεδο Αναφοράς 70 % (W/kg)	Αυστηρότερο Επίπεδο Αναφοράς 60 % (W/kg)
Μέσος ρυθμός ειδικής απορρόφησης SAR (ολόκληρο σώμα)	0,08	0,056	0,048
Τοπικός ρυθμός ειδικής απορρόφησης SAR (στο κεφάλι και στον κορμό)	2	1,4	1,2
Τοπικός ρυθμός ειδικής απορρόφησης SAR (στα άκρα)	4	2,8	2,4



Εικόνα 2.5 Επίπεδα αναφοράς στην έκθεση μη ιοντίζουσας ακτινοβολίας από κάθε χώρα σύμφωνα με τις οδηγίες της ICNIRP στην υπηρεσία GSM 1800 [22]

2.3.2 ΟΡΙΑ ΑΣΦΑΛΟΥΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑΣ

Η ελληνική επιτροπή έχει θεσπίσει επίσης τα όρια που αφορούν το γενικό σύνολο του πληθυσμού (Πίνακας 2.2), αλλά και τις ευπαθείς ομάδες (Πίνακας 2.3).

Όπως παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες διαφαίνεται ότι οι περιορισμοί στην έκθεση μη - ιοντίζουσας ακτινοβολίας είναι περισσότερο αυστηροί από αυτούς που έχει προτείνει η ICNIRP (Πίνακας 2.4) [21].

Πίνακας 2.2 Επίπεδα αναφοράς για τα επίπεδα πεδίων στην περιοχή συχνοτήτων 100 kHz – 300 GHz, όπως προκύπτουν μετά την εφαρμογή του συντελεστή μείωσης 70 %, που ορίζεται στην παράγραφο 9 του άρθρου 31 του Νόμου 3431 (ΦΕΚ 13/Α/03-02- 2006), στους βασικούς περιορισμούς του άρθρου 2 της υπ' αριθμ. 53571/3839/6.9.2000 ΚΥΑ

Ζώνη Συχνοτήτων	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου, E (V/m)	Ισοδύναμη Πυκνότητα Ισχύος Επίπεδου Κύματος, Seq (W/m ²)
100 kHz – 10 MHz	$72,8 / \sqrt{f}$	-
10 – 400 MHz	23,4	1,4
400 – 2000 MHz	$1,15 \cdot \sqrt{f}$	f / 286
2 – 300 GHz	51	7

Πίνακας 2.3 Επίπεδα αναφοράς για τα επίπεδα πεδίων στην περιοχή συχνοτήτων 100 kHz – 300 GHz, όπως προκύπτουν μετά την εφαρμογή του συντελεστή μείωσης 60 %, που ορίζεται στην παράγραφο 10 του άρθρου 31 του Νόμου 3431 (ΦΕΚ 13/Α/03- 02-2006), στους βασικούς περιορισμούς του άρθρου 2 της υπ' αριθμ. 53571/3839/6.9.2000 ΚΥΑ. (αναφέρονται σε ευαίσθητες περιοχές όπως σχολεία, νοσοκομεία, δημόσια κτίρια)

Ζώνη Συχνοτήτων	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου, E (V/m)	Ισοδύναμη Πυκνότητα Ισχύος Επίπεδου Κύματος, Seq (W/m ²)
100 kHz – 10 MHz	$67,3 / \sqrt{f}$	-
10 – 400 MHz	21,7	1,2
400 – 2000 MHz	$1,065 \cdot \sqrt{f}$	f / 333
2 – 300 GHz	47,2	6

60 % της Ε.Ε για τις ευαίσθητες κοινωνικές ομάδες

Σύμφωνα με το Νόμου 3431/2006, "Σε περίπτωση εγκατάστασης κατασκευής κεραιάς σε απόσταση μέχρι 300 μέτρων από την περίμετρο κτιριακών εγκαταστάσεων βρεφονηπιακών σταθμών, σχολείων, γηροκομείων και νοσοκομείων, τα όρια έκθεσης του κοινού απαγορεύεται να υπερβαίνουν το 60 % των τιμών, που καθορίζονται στα άρθρα 2 έως 4 της υπ' αριθμ. 53571/3839/6.9.2000 κοινής υπουργικής απόφασης ή στην εκάστοτε ισχύουσα αντίστοιχη κοινή απόφαση των Υπουργών Ανάπτυξης, Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων, Υγείας και Κοινωνικής Αλληλεγγύης και Μεταφορών και Επικοινωνιών."

70 % της Ε.Ε για το γενικό πληθυσμό

Με τη δημοσίευση του Νόμου 3431/2006, τα όρια για την ασφαλή έκθεση του κοινού σε ακτινοβολία δεν πρέπει να υπερβαίνουν το 70 % των διεθνώς αποδεκτών τιμών οι οποίες έχουν προταθεί από την οδηγία της ICNIRP. Οι τιμές αυτές εισάγονται στην ελληνική νομοθεσία με τα άρθρα 2 έως 4 της ΚΥΑ 53571/3839/6.9.2000 για τα μέτρα προφύλαξης του κοινού από τη λειτουργία κεραιών εγκατεστημένων στη ξηρά. Επισημαίνεται ότι προ του Ν. 3431/2006 ίσχυε το 80 % των αντίστοιχων τιμών.

Πίνακας 2.4 Επίπεδα αναφοράς της ελληνικής νομοθεσίας για διάφορες περιοχές συχνότητων στις οποίες λειτουργούν βασικές τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες.

Εύρος Ζώνης Συχνότητων (MHz)	Παρατηρήσεις	Αυστηρότερο Επίπεδο Αναφοράς (V/m) 60 % Ε.Ε	Αυστηρότερο Επίπεδο Αναφοράς (V/m) 70 % Ε.Ε
0,1 – 88	-	21,69	23,4
88 – 108	Ραδιοφωνικές εκπομπές στη φασματική περιοχή των FM	21,69	23,4
110 – 174	Αεροναυτική και ναυτιλιακή επικοινωνία	21,69	23,4
175 – 369	Τηλεοπτικές εκπομπές στη φασματική περιοχή VHF	21,69	23,4
370 – 470	Ενδοεπικοινωνίες ιδιωτικών δικτύων και δίκτυα σωμάτων ασφαλείας (σύστημα TETRA)	21,69	23,4
470 – 790	Τηλεοπτικές εκπομπές στη φασματική περιοχή UHF	23,09	24,9
791 – 862	Ψηφιακό Μέρισμα για Κινητή Τηλεφωνία (TV White Spaces)	29,95	30,4
876 – 960	Εκπομπές σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας στο σύστημα GSM 900	31,52	32,3
961 – 1436	Ραδιοπλοήγηση, Ραδιοεντοπισμός	33,02	34,0
1437 – 1515	Ευρυεκπομπές (DAB)	40,37	35,6
1710 – 1880	Εκπομπές κινητής τηλεφωνίας στο σύστημα DCS 1800	44,04	47,6
1920 – 2170	Εκπομπές κινητής τηλεφωνίας στο σύστημα UMTS	46,67	50,1
2400 – 2484	Εκπομπές κεραιοδιατάξεων Wi-Fi (ISM Band)	47,2	51
2500 – 2690	Εκπομπές μικροκυματικών κεραιών καθώς και συστήματα ραντάρ (IMT), Ραδιοεντοπισμός	47,2	51
2700 – 2900	Εκπομπές μικροκυματικών κεραιών καθώς και συστήματα ραντάρ, Ραδιοεντοπισμός (ΥΠΑ)	47,2	51

2.3.3 ΛΟΓΟΣ ΕΚΘΕΣΗΣ

Ο λόγος έκθεσης λ υπολογίζεται ως η ενεργός τιμή των μετρήσεων της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου E (V/m) σε μια συχνότητα ή σε μία περιοχή διά τα επίπεδα αναφοράς (μετά την εφαρμογή των προβλεπόμενων συντελεστών μείωσης 60 % ή 70 %).

Σε κάθε θέση από τις μετρούμενες τιμές ηλεκτρικού πεδίου υπολογίζεται ο σχετικός λόγος έκθεσης λ_f για κάθε ύψος i και συχνοτική περιοχή f . Υπολογίζεται σε 3 ύψη και ορίζεται ο μέσος όρος των παραμέτρων i , f .

$$\lambda_f = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \lambda_{i,f}$$

Ο σχετικός λόγος έκθεσης είναι ένας καθαρός αριθμός που χρησιμοποιείται για να σταθμιστεί η επιβάρυνση στην έκθεση του κοινού από διατάξεις που λειτουργούν σε μία σχετικά στενή περιοχή συχνοτήτων (π.χ. στη συχνότητα εκπομπής μιας συγκεκριμένης κεραίας ή στη φασματική περιοχή που χρησιμοποιείται από μια συγκεκριμένη υπηρεσία) σε μία συγκεκριμένη θέση.

Για τη σύγκριση των τιμών με τα όρια υπολογίζεται για κάθε θέση μέτρησης ο Συνολικός Λόγος Έκθεσης Λ , ως το άθροισμα των Λόγων Έκθεσης λ_f στη φασματική περιοχή f [23].

$$\Lambda = \sum_f \lambda_f$$

Το όριο του λόγου έκθεσης για κάθε συχνοτική περιοχή, καθώς και του Συνολικού Λόγου Έκθεσης, είναι η τιμή 1. Άρα, αν η τιμή του Συνολικού Λόγου Έκθεσης είναι χ , αυτό σημαίνει ότι είμαστε $1/\chi$ φορές κάτω από τα όρια.

Ο Συνολικός Λόγος Έκθεσης χρησιμοποιείται προκειμένου να εκτιμηθεί η έκθεση του πληθυσμού σε Η/Μ Πεδία σε σύγκριση με τα όρια, όπως αυτά καθορίζονται στην κείμενη νομοθεσία [6].

ΚΥΑ υπ' αριθ. 2300 ΕΦΑ (493): «Κανονισμός διενέργειας μετρήσεων των επιπέδων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο περιβάλλον σταθμών κεραιών» (ΦΕΚ 346/Β/3-3-2008)

Ο λόγος έκθεσης είναι καθαρός αριθμός. Σε περίπτωση που ισχύει ότι ο λόγος έκθεσης ≥ 1 , τότε σημαίνει ότι τα όρια υπερβαίνονται.

Ο λόγος έκθεσης στην παρούσα διαδικασία υπολογίζεται ως εξής, για τις ζώνες από 10 MHz έως 10 GHz, ανάλογα με ποια παράμετρο προκύπτουν τα αντίστοιχα αποτελέσματα ($\frac{V}{m}, \frac{A}{m}, \frac{W}{m^2}$).

$$\lambda = \frac{E^2}{L_E^2} = \frac{H^2}{L_H^2} = \frac{S}{L_S}$$

Ωστόσο, διαφέρει η διαδικασία μέτρηση για τις περιοχές < 10 MHz, για > 10 GHz ή για μετρήσεις παλμικά διαμορφωμένων πεδίων π.χ. κεραιών radar.

Η τιμή των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων και κατ' επέκταση λόγου έκθεσης καθορίζεται από κάποιους παράγοντες:

Τύπος Κεραίας: Με λίγα λόγια, οι κεραιές σταθμών βάσης δεν εκπέμπουν το ίδιο πεδίο σε κάθε διεύθυνση.

Δομή Κτηρίων: Τα τοιχία που διαχωρίζουν τους χώρους, καθώς και οι οροφές περιορίζουν την ακτινοβολία στον εξωτερικό χώρο.

Απόσταση: Η τιμή του πεδίου μειώνεται όσο αυξάνεται η απόσταση από την κεραία εκπομπής [24].

2.4 ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ

Έπειτα, παρουσιάζονται οι ορισμοί μαζί με τους συμβολισμούς διαφόρων στατιστικών μεγεθών.

Ορισμός Στατιστικών μεγεθών:

Δειγματική μέση τιμή: Αποτελεί το πιο ευρέως γνωστό μέτρο. Είναι το κέντρο που ισορροπεί τις τιμές των δεδομένων που μελετήθηκαν.

$$\lambda_f = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_{i,f}$$

Η διασπορά: Είναι ένα μέγεθος που δείχνει την κατανομή μίας μεταβλητής γύρω από τη μέση τιμή της.

$$s_f^2 = \sum_{i=1}^n (\lambda_{i,f} - \lambda_f)^2$$

Δειγματική τυπική απόκλιση: Από τη διασπορά διαφαίνεται ότι οι μονάδες μέτρησης είναι υψωμένες στο τετράγωνο, για αυτό το λόγο ορίστηκε η τυπική απόκλιση

(standard deviation) που είναι η τετραγωνική ρίζα της διασποράς. Ουσιαστικά, πρόκειται για την τυπική απόκλιση των αποτελεσμάτων από τη μέση τιμή.

$$s_f = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\lambda_i f - \lambda_f)^2}$$

Διάμεσος: Με αυτή την τιμή, το εύρος όλων των τιμών διαιρείται σε 2 ίσα μέρη. Το 50 % των παρατηρήσεων είναι μικρότερες από την τιμή, ενώ αντίστοιχα το άλλο 50 % μεγαλύτερο.

Αν, α) περίπτωση που ο Χ αριθμός παρατηρήσεων είναι περιττός:

$$\delta = \lambda_{\left(\frac{n+1}{2}\right)}$$

Αν, β) ο αριθμός παρατηρήσεων είναι άρτιος, τότε υπάρχουν 2 τιμές, στη μέση των τιμών. Άρα, το δ είναι ο μέσος όρος αυτών. Δηλαδή:

$$\delta = \frac{\lambda_{(n/2)} + \lambda_{(n/2)+1}}{2}$$

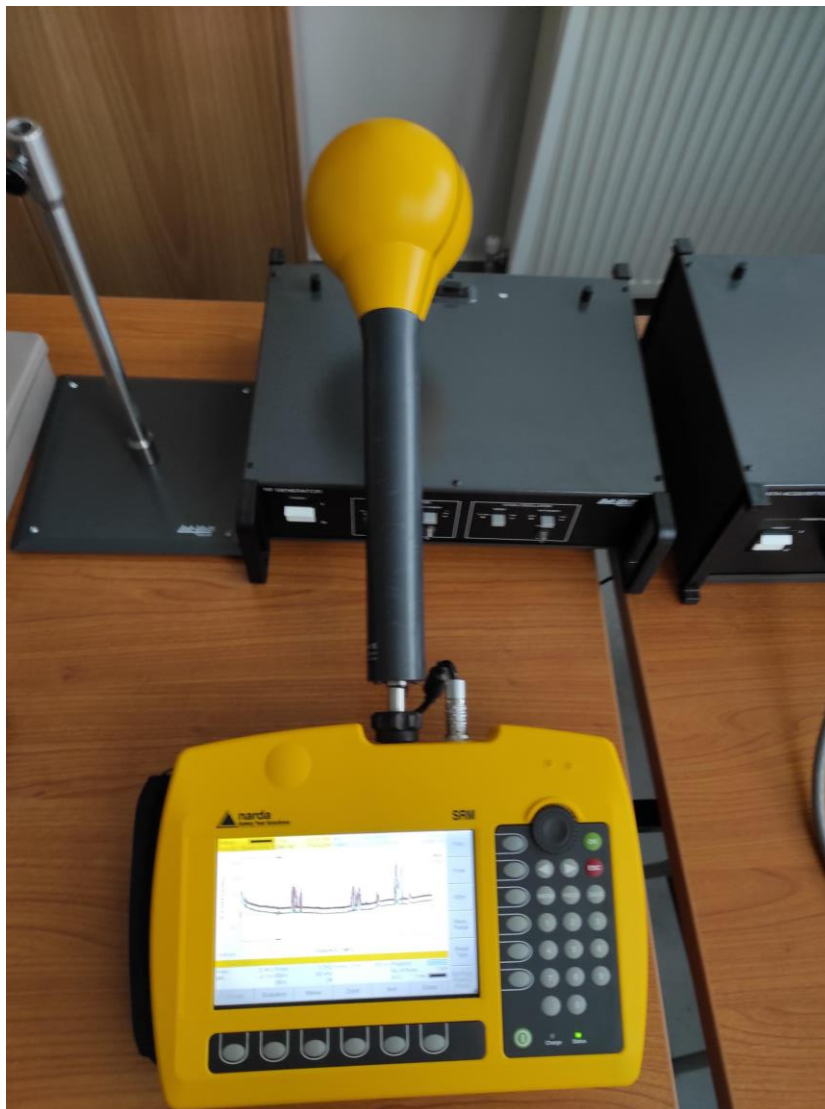
Τυπικό σφάλμα: Εκφράζει την ακρίβεια μία τιμής και πρόκειται ουσιαστικά για την εκτίμηση της τυπικής απόκλισης [1].

$$se = \frac{s_f}{\sqrt{n}}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΣ ΑΝΑΛΥΤΗΣ NARDA SRM - 3006

3.1 ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΣ ΑΝΑΛΥΤΗΣ NARDA SRM - 3006

Ο φασματικός αναλυτής SRM (Selective Radiation Meter) - 3006 της Narda Safety Test Solutions (Εικόνα 3.1) είναι μία φορητή συσκευή κατασκευασμένη για μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικών πεδίων υψηλών συχνοτήτων και για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα επιτρεπτά όρια ασφαλούς έκθεσης.



Εικόνα 3.1 Narda SRM - 3006

Η συσκευή της SRM (Selective Radiation Meter) αποτελείται από τον φασματικό αναλυτή της 9 KHz – 6 GHz και ενώνεται με μία τριαξονική (ισοτροπική) κεραία μέ-

τρησης 26 MHz – 3 GHz [25]. Σε αυτό το φάσμα πραγματοποιούνται και οι ασφαλείς μετρήσεις.

Οι πιο διαδεδομένες περιοχές που βρίσκουν αντικείμενο επεξεργασίας ιδανικά είναι οι Broadcast Radio (FM, AM), TV, TETRA, οι κινητές τηλεπικοινωνίες (GSM, UMTS, LTE), radar και οι ασύρματες επικοινωνίες (W-LAN, WiMax).

Το όργανο, στο οποίο η διπλωματική είναι βασισμένη είναι ουσιαστικά ένα επαγγελματικό εργαλείο με πολλαπλές χρήσεις και με ένα εύχρηστο γραφικό περιβάλλον. Συνήθως, τα κλιμάκια και οι υπηρεσίες που χρησιμοποιούν το φασματικό αναλυτή πραγματοποιούν μετρήσεις σε εξωτερικούς χώρους, όπως σε σταθμούς βάσης, πάρκα κεραιών κ.α.

Αναφορικά με τη λειτουργικότητα της συσκευής είναι ανθεκτική σε αντίξοες συνθήκες, αλλά επίσης χρειάζεται την αντίστοιχη προσοχή στη εργασία του και να μη γίνεται εκτενέστερη χρήση στην περίπτωση που η συσκευή ξεπερνάει τις προβλεπόμενες θερμοκρασίες [26].

3.2 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΑΝΑΛΥΤΗ

Ο αναλυτής πλαισιώνεται από την τριαξονική κεραία. Αυτή είναι εξοπλισμένη με ένα καλώδιο ελέγχου μαζί με την RF σύνδεση. Έτσι, γίνεται σύνδεση στη μονάδα μέσω των πολλαπλών ακίδων στην υποδοχή και μεταφέρονται τα δεδομένα, με σκοπό το SRM - 3006 να μπορεί να τα αναγνωρίσει.

Επίσης, υπάρχει δυνατότητα σύνδεσης με τον υπολογιστή, μέσω καλωδίου USB. Χρειάζεται να γίνει εγκατάσταση της εφαρμογής του Narda SRM - 3006 tools από την επίσημη σελίδα και με αυτόν τον τρόπο είναι εφικτή η επεξεργασία των δεδομένων του αναλυτή σε πραγματικό χρόνο μέσω της μονάδας του υπολογιστή.

Με την ενεργοποίηση της συσκευής παρατηρείται η κυματοειδής συνάρτηση συναρτήσεως της έντασης ηλεκτρικού πεδίου $\left(\frac{V}{m}\right)$ και της συχνότητας (Εικόνα 3.2) και από την επιλογή display μπορείς να μετατραπεί η μέτρηση συναρτήσεως είτε του μαγνητικού πεδίου $\left(\frac{A}{m}\right)$ ή της μέσης πυκνότητας ισχύος $\left(\frac{W}{m^2}\right)$.

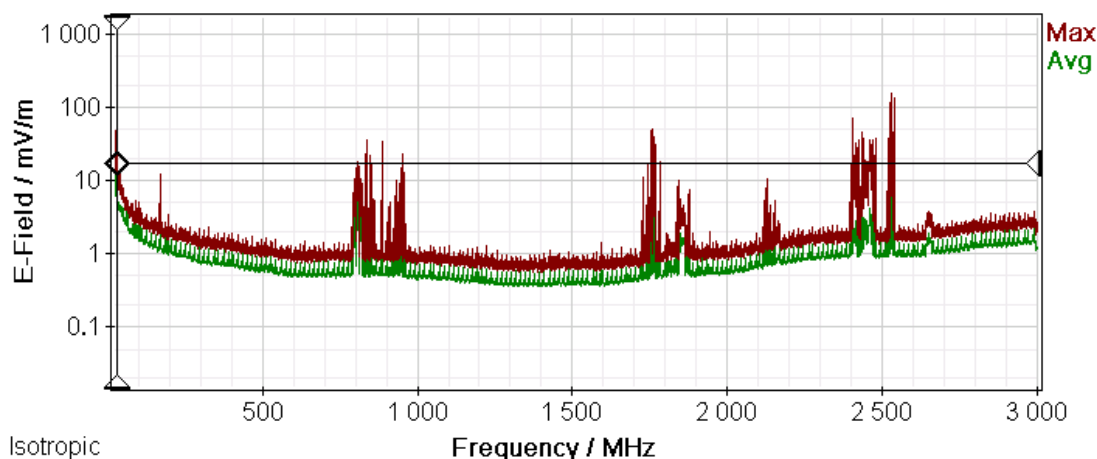
Παρακάτω, (Πίνακας 3.1) παρουσιάζεται ο κύριος πίνακας με τα βασικά χαρακτηριστικά του αναλυτή [25].

Πίνακας 3.1 Επιλογές του Φασματικού Αναλυτή

No	Main Table
1	Fmin
2	Fmax
3	RBW
4	MR
5	Result Type
6	Set Freq: Fcent& Fspan
7	Extras
8	Axis
9	Zoom
10	Marker
11	Evaluation
12	Display

Στο πεδίο Spectrum παρατηρείται η ροή των δεδομένων που λαμβάνει ο αναλυτής συναρτήσει του μετρούμενου μεγέθους και της επιλεγμένης συχνοτικής ζώνης.

Battery:	Ext. Power	Freq:	28.554 MHz	Ant:	3AX 27M-3G	SrvTbl:	EU Full Band
Service:		SpA Pk:	16.74 mV/m	Cable:	---	Std:	ICNIRP GP



Spectrum							
Fmin:	26 MHz	Fmax:	3 GHz	Sweep Time:	966 ms	Progress:	<input type="checkbox"/>
MR:	1.6 V/m	RBW:	300 kHz	No. of Runs:	162	AVG:	2 min <input type="checkbox"/>
		VBW:	Off				

Εικόνα 3.2 Κύριο Περιβάλλον SRM - 3006 (Spectrum) E (V/m)

Με τις επιλογές F_{min} και F_{max} είναι δυνατό να διαμορφωθεί το εύρος φάσματος με μία ελάχιστη και μέγιστη συχνότητα, αλλά ανάλογα με τη διαδικασία μέτρησης δίνεται η επιλογή μέσω του F_{cent} & F_{span} να ορίσουμε μία κεντρική συχνότητα μαζί με το πλάτος της.

Άλλη μία πολύτιμη λειτουργία στον αναλυτή είναι η Marker, καθώς γίνεται να επιλεγεί ένας ή δύο ελεγχτές για να εντοπιστούν συγκεκριμένα σημεία που

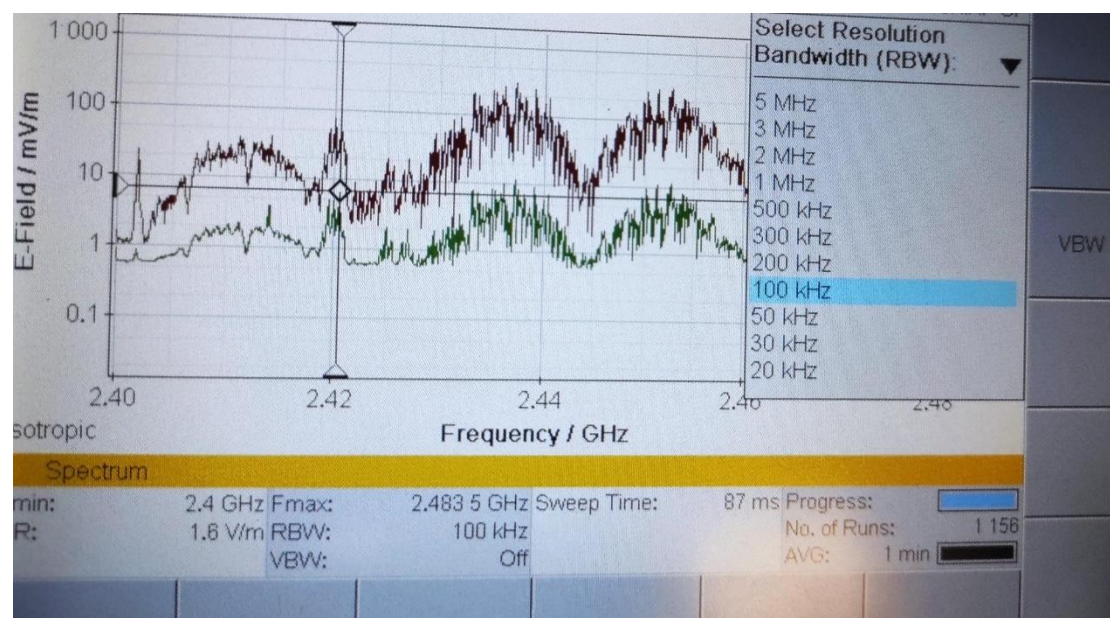
εκπέμπουν σήμα. Υπολογίζονται, έτσι δηλαδή κορυφές σε διάφορα σημεία και πραγματοποιούνται συγκρίσεις.

Η λειτουργία Marker είναι ιδανική, διότι παρέχεται εντολή, ώστε να εντοπίζονται οι κορυφές με τις υψηλότερες και τις χαμηλότερες τιμές θέσης. Επίσης, πλαισιώνεται και από ένα σύστημα εντοπισμού, αφού διαφαίνεται στην οθόνη η γεωγραφική θέση του χώρου που βρίσκεται [25].

Δίνοντας ένα παραδείγμα της χρήσης της λειτουργίας Marker, επίλεγοντας τους δύο δείκτες με τυχαία σειρά και ρυθμίζοντας τους να οδηγηθούν σε ένα διάστημα μεταξύ δύο κορυφών μίας φασματικής ζώνης, διαφαίνεται η συνολική τιμή των κορυφών της υπηρεσίας που έχει επιλεγθεί. Με αυτόν τον τρόπο, υπολογίζεται η συνολική τιμή του ηλεκτρικού πεδίου για αυτό το διάστημα.

Αναφερόμενοι στη λειτουργία Marker λοιπόν, αν ο χρήστης επιθυμεί να υπολογίσει όλη τη φασματική ζώνη, αρκεί να επιλέξει με τους δείκτες τα αντίστοιχα άκρα της. Αυτό, όπως θα αναφερθεί αργότερα, γίνεται με πιο εύκολο τρόπο από την επιλογή «extras» -> «LEVEL RECORDER». Παρατηρείται μετά το πέρας της μέτρησης το άθροισμα όλων των κορυφών της υπηρεσίας με τις παραμέτρους Peak (max) και Rms (max).

Η επόμενη απαραίτητη ρύθμιση είναι το «Resolution Bandwidth» (RBW) και το «Measurement Range» (MR).



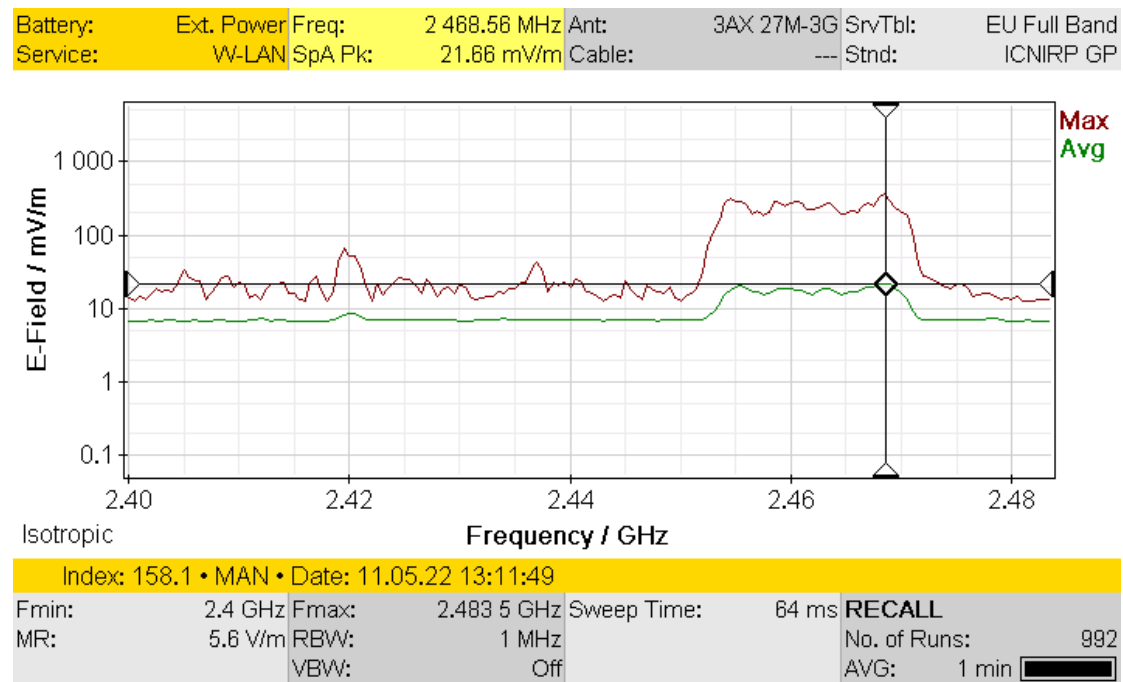
Εικόνα 3.3 Resolution Bandwidth (RBW)

Ουσιαστικά το RBW (Εικόνα 3.3) καθορίζει το πλάτος του ζωνοπερατού φίλτρου που σαρώνεται στο εύρος συχνοτήτων.

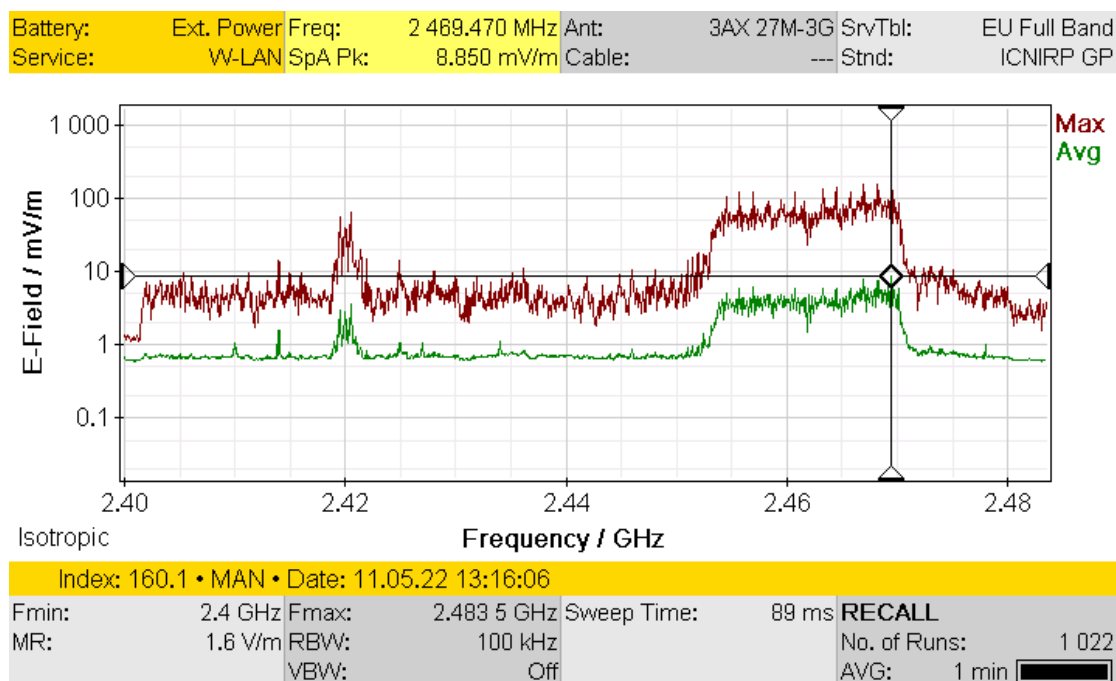
Η μείωση του εύρους ζώνης (Εικόνα 3.5) ανάλυσης αυξάνει την ικανότητα του αναλυτή φάσματος να αναλύει σήματα, καθώς διακρίνονται περισσότερες κορυφές συχνοτήτων, τιμές E (V/m) και ο χρόνος σάρωσης για να ολοκληρωθεί η μέτρηση απαιτεί παραπάνω λεπτά.

Στην περίπτωση που αυξήσουμε πολύ το RBW (Εικόνα 3.4), αμβλύνεται αυτή η ικανότητα, επομένως δύο κορυφές συχνοτήτων παρατηρούνται ως μία, καθώς υπάρχει δυσκολία στον διαχωρισμό τους [25].

Ακολουθούν φωτογραφίες σύγκρισης:



Εικόνα 3.4 W-LAN Service - RBW (1 MHz)



Εικόνα 3.5 W-LAN Service - RBW (100 kHz)

Στην περίπτωση που το RBW είναι χαμηλό, το αναφερόμενο επίπεδο που μετρείται, προκύπτει ότι θα είναι και αυτό πολύ χαμηλό.

Το RBW καθορίζεται από το εύρος των καναλιών που υπολογίζονται, με σκοπό να είναι διακριτές οι κορυφές μεταξύ τους.

Το SRM - 3006 δείχνει τον τρόπο, με τον οποίο μπορεί να υπολογιστεί αυτόματα το πεδίο RBW.

$$RBW = \frac{F_{spa(narrowest\ service)}}{4}$$

Measurement Range

Η ευαισθησία του συστήματος εξαρτάται από την εξασθένηση εισόδου (input attenuator setting), η οποία καθορίζεται από την παράμετρο «Measurement range», εύρος μέτρησης (Εικόνα 3.6). Μια υψηλής ευαισθησίας μέτρηση αποφεύγει οποιαδήποτε παραποίηση των αποτελεσμάτων, που μπορεί να εμφανιστεί λόγω του εσωτερικού θορύβου της συσκευής.

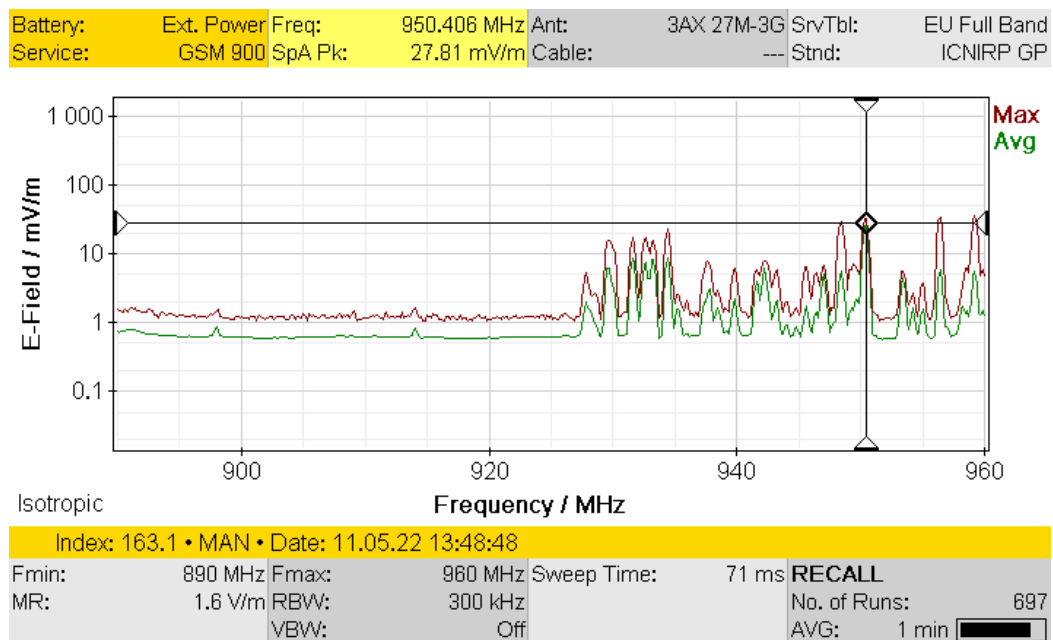
Αν επιλεχτεί ένα υψηλό MR (Εικόνα 3.7), η διακριτική ικανότητα θα μειωθεί και εκτός αυτού, είναι πιθανό να αλλοιωθούν τα ακριβή αποτελέσματα και να μην έχουμε έγκυρο θόρυβο. Εντούτοις, η συσκευή δεν πρέπει να υπερφορτωθεί (OVERDRIVEN).

Η υπερφόρτωση μπορεί επίσης, να προκληθεί από σήματα που είναι έξω από την εμβέλεια των συχνοτικών υπηρεσιών, όπως εκείνα από έναν ισχυρό σταθμό ραδιοεκπομπής που μπορεί να επιβληθούν στα σήματα κινητής τηλεφωνίας που χρειάζονται πραγματικά να μετρηθούν.

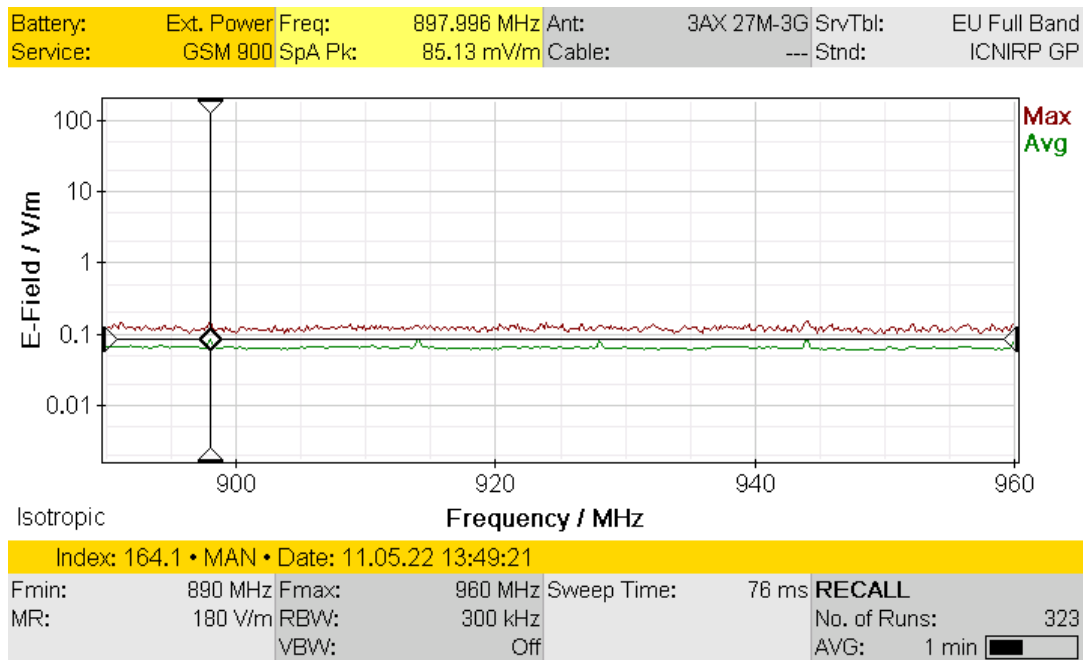
Το πεδίομετρο SRM - 3006 επιτρέπει:

- τη χειροκίνητη επιλογή του «Measurement range»
- Αναζήτηση «MR search»

Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων επιλέχθηκε η αναζήτηση του βέλτιστου «Measurement range», από την επιλογή «soft key» -> «MR Search». Αντίθετα, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει από την επιλογή «soft key», την παράμετρο «Measurement Range» που επιθυμεί [25] [2].



Εικόνα 3.6 GSM Service - MR (1,6 V/m)

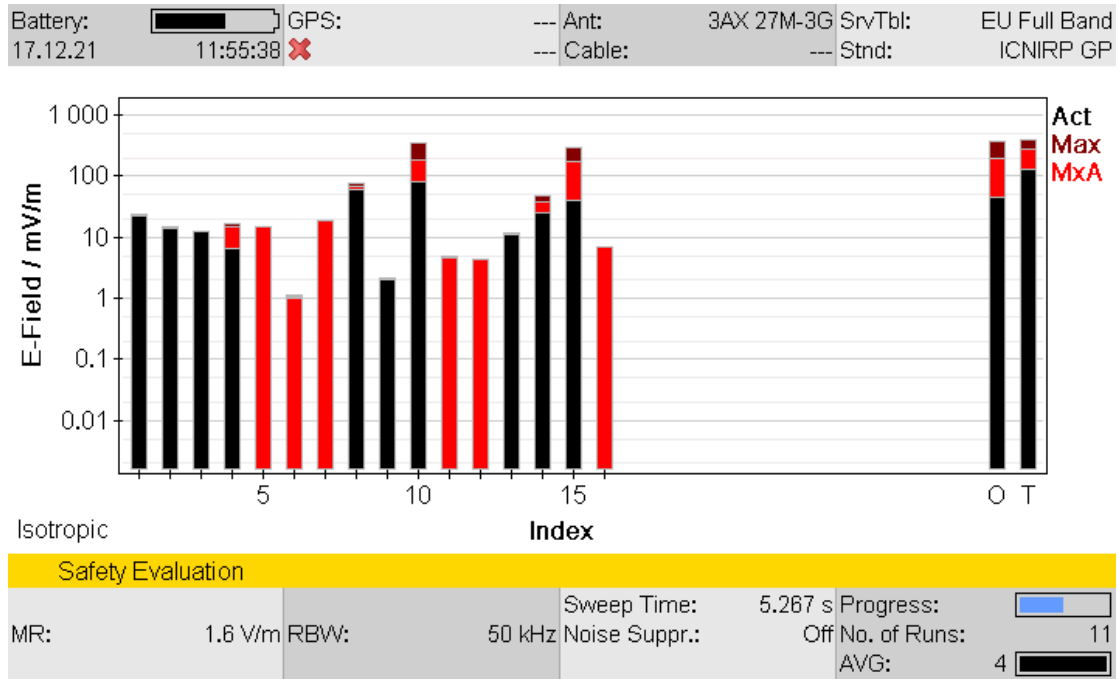


Εικόνα 3.7 GSM Service - MR (180 V/m)

Εκτίμηση ασφάλειας (Safety Evaluation Mode)

Σε αυτή τη λειτουργία, το SRM - 3006 απεικονίζει τα αποτελέσματα της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου σε γράφημα μπάρας, στο οποίο φαίνεται η συνολική εκπεμπόμενη ακτινοβολία, αφού με τη μορφή της μπάρας είναι πολύ εύκολο να βγει και ο συνολικός έκθεσης της ακτινοβολίας (Εικόνα 3.8).

Τα αποτελέσματα μπορούν να απεικονίζονται ως ποσοστά ενός ορίου έκθεσης ή ως απόλυτες τιμές σε $\frac{V}{m}$ ή $\frac{A}{m}$ ή $\frac{W}{m^2}$ ή $\frac{mW}{cm^2}$. Η λειτουργία αυτή παρέχει στο χρήστη μία εύκολη και άμεση εκτίμηση της συνεισφοράς των ανεξάρτητων πηγών (υπηρεσιών) στη συνολική ένταση του ηλεκτρικού πεδίου [3].



Εικόνα 3.8 Safety Evaluation Mode

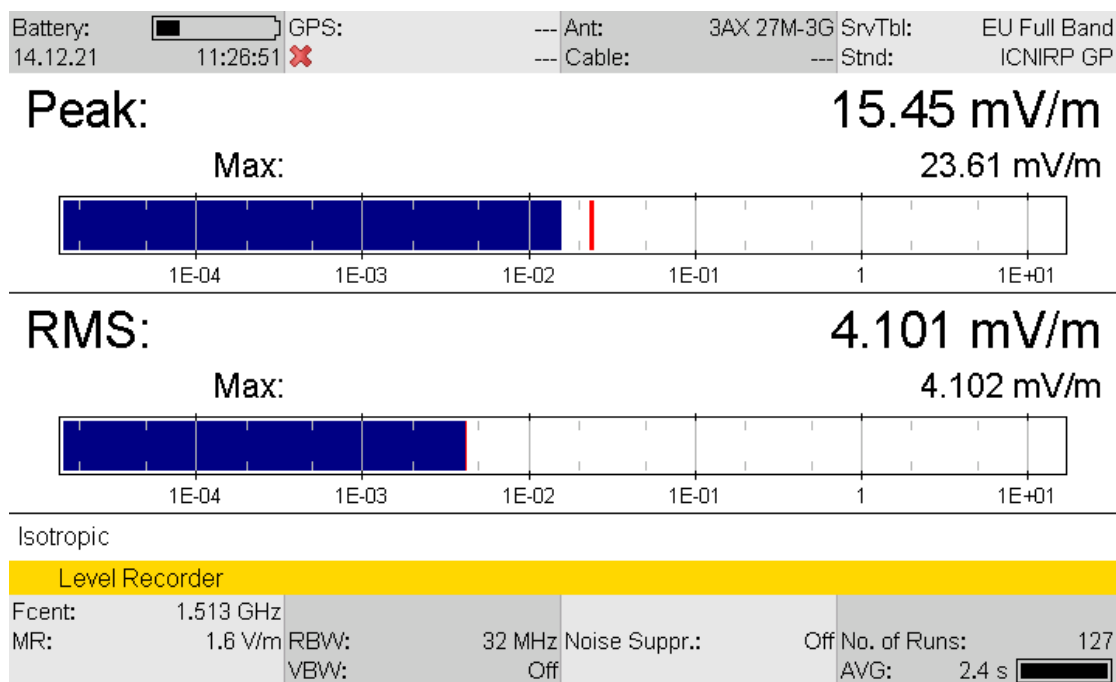
LEVEL RECORDER

Η λειτουργία LEVEL RECORDER φανερώνει το συνολικό λόγο εκπεμπόμενης ακτινοβολίας (Εικόνα 3.9). Όπως και στο «safety evaluation mode» μπορεί να απεικονιστεί σε $\frac{V}{m}$ ή $\frac{A}{m}$ ή $\frac{W}{m^2}$ ή $\frac{mW}{cm^2}$.

Το βασικό πλεονέκτημα είναι ότι η συνολική μέση και μέγιστη τιμή παρουσιάζονται σε 2 μπάρες. Ταυτόχρονα, επιτρέπεται στο χρήστη να παρακολουθεί τη ζώνη υπηρεσίας από 0,48 έως 30 λεπτά σε μία μέτρηση, επομένως αυτό βοηθά στη μακροπρόθεσμη παρακολούθηση μίας μέτρησης πιο εύκολα και παρέχει όλα τα δεδομένα που μπορεί να χρειαστεί για να αξιολογήσει πλήρως τη συμβολή της στη συνολικά επίπεδα ακτινοβολίας [25].

Επίσης, η συνολική τιμή που υπολογίζεται από τον αναλυτή είναι σημαντική για να γίνει στη συνέχεια η σύγκριση με όρια που έχουν νομοθετηθεί.

Σε αντίθεση περίπτωση, χρησιμοποιείται η λειτουργία Marker από το πεδίο «Full Span». Πιο συγκεκριμένα, επιλέγεται ο A marker για την f_{minimum} και αντίστοιχα ο B marker για την f_{maximum} , δηλαδή επιλέγονται οι άκρες των ορίων σε όλο το φάσμα της υπηρεσίας που υπολογίζεται, ώστε να αποτυπωθεί με την επιλογή «result type» πρώτα η E_{rms} , η συνολική έκθεση της μέσης τιμής και ύστερα, η E_{max} , η συνολική έκθεση της μέγιστης τιμής.



Εικόνα 3.9 LEVEL RECORDER

3.3 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΤΟΥ ΑΝΑΛΥΤΗ

Ο φασματικός αναλυτής SRM - 3006 είναι από τα βασικά εργαλεία των τηλεπικοινωνιακών εταιριών, για να λαμβάνουν τα αποτελέσματα μετρήσεων σύμφωνα με τα θεσμοθετημένα όρια ασφαλούς έκθεσης.

Παρακάτω, παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του φασματικού αναλυτή:

- Ευρύ φάσμα συχνοτήτων από 9 kHz έως 6 GHz
- Τριαξονική Κεραία (ισοτροπική)
- Το υψηλότερο δυνατό εύρος μέτρησης
- Μικρή ρύθμιση του εύρους μέτρησης σε βήματα 1 dB
- Αντοχή σε ακτινοβολία έως 200 V/m
- Η καθορισμένη συνολική αβεβαιότητα μέτρησης εξοικονομεί υπολογισμούς
- Ενσωματωμένες λειτουργίες αξιολόγησης
- Εύρος ζώνης ανάλυσης (RBW) έως 32 MHz για αξιολόγηση των πιο πρόσφατων τεχνολογιών κινητών επικοινωνιών
- MR έως 180 V/m για τον καθορισμό της ευαισθησίας της συσκευής [25] [26]

3.4 ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Πριν την έναρξη της διαδικασίας των μετρήσεων είναι σημαντικό να καθοριστούν όσο το δυνατόν περισσότερα από τα χαρακτηριστικά του σταθμού κεραιών στο περιβάλλον του οποίου θα πραγματοποιηθεί ο έλεγχος. Η γνώση αυτή επιτρέπει την καλύτερη εκτίμηση των εντάσεων πεδίου και την κατάλληλη επιλογή οργάνων δοκιμής και διαδικασιών μέτρησης. Τα κύρια σημεία που πρέπει να είναι γνωστά πριν την έναρξη των μετρήσεων αφορούν:

- *Τον χαρακτηρισμό του ελεγχόμενου σταθμού κεραιών (π.χ. σταθμός βάσης κινητής τηλεφωνίας, κεραιές εκπομπής ραδιοφωνικών ή τηλεοπτικών σταθμών, μικροκυματικές κεραιές, σύστημα ραντάρ κλπ.).*
- *Τις συχνότητες ή τις περιοχές συχνοτήτων που εκπέμπονται από τον υπό μέτρηση σταθμό κεραιών.*
- *Τα τυπικά διαγράμματα ακτινοβολίας των κεραιών του σταθμού.*
- *Συστήματα ραντάρ ο ρυθμός περιστροφής, ο ρυθμός επανάληψης παλμών, η διάρκεια παλμού.*
- *Την διαμόρφωση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τις κεραιές του σταθμού.*
- *Την πόλωση του εκπεμπόμενου ηλεκτρομαγνητικού κύματος από κάθε κεραιά του σταθμού.*
- *Τα τυπικά επίπεδα της εκπεμπόμενης ισχύος και τα αναμενόμενα επίπεδα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο περιβάλλον του σταθμού κεραιών.*
- *Τις δυσμενέστερες συνθήκες έκθεσης στο περιβάλλον του σταθμού κεραιών.*
- *Τα επίπεδα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας υποβάθρου, δηλαδή της ακτινοβολίας που δημιουργείται από πηγές διαφορετικές από τον υπό εξέταση σταθμό κεραιών στην περιοχή που θα πραγματοποιηθούν μετρήσεις.*
- *Τα όρια έκθεσης που εφαρμόζονται [27]*

3.5 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΕΕΑΕ

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Ο τρόπος που ακολουθείται για να πραγματοποιηθεί μία μέτρηση είναι συγκεκριμένος και με γνώμονα αυτόν λειτουργεί αντίστοιχα για την εκπόνηση πολλών πειραμάτων ή επίσημων διαδικασιών. Αρχικά, είναι σημαντικό να επιλέγεται το μέγεθος μέτρησης. Για την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χρησιμοποιείται στο μεγαλύτερο βαθμό η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου $\frac{V}{m}$.

Ύστερα, καθορίζεται η ζώνη υπηρεσίας που θα μελετηθεί ή μία τυχαία εμβέλεια και μέσω του πεδίου «result type» -> «average time» διαλέγεται η διάρκεια χρόνου της μέτρησης. Είναι σημαντικό να υπάρχει πηγή ακτινοβολούμενου πεδίου στο περιβάλλον μέτρησης, ώστε με την υπηρεσία που επιλέγεται να αντλούνται δεδομένα από τον αναλυτή και παράλληλα να πραγματοποιείται ένας ικανοποιητικός αριθμός μετρήσεων με σκοπό την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων.

Η θέση του πεδιομέτρου που θα ληφθεί η μέτρηση, είναι εξίσου απαραίτητο να προσδιοριστεί. Σίγουρα, όσο πιο κοντά στο μετρούμενο μέσο, η τελική τιμή θα είναι μεγαλύτερη. Με την απομάκρυνση από το εκπεμπόμενο πεδίο, σίγουρα η τιμή θα φθίνει, αλλά υπάρχουν παράγοντες που φέρουν ως αποτέλεσμα απώλειες [24].

ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΕΕΑΕ

Η ΕΕΑΕ (Εθνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας) είναι υπεύθυνη για την προστασία του πληθυσμού και του περιβάλλοντος από ηλεκτρομαγνητικά πεδία όσο αναφορά τη μη - ιονίζουσα ακτινοβολία.

Επίσης, βάσει του Νόμου 4053,

Υπό την αρμοδιότητα της ΕΕΑΕ, το εθνικό παρατηρητήριο έχει αναλάβει το ρόλο των συνεχών ελέγχων για την τήρηση των ορίων, διενεργώντας συστηματικά ελέγχους.

Η ΕΑΕΕ έχει θεσπίσει μεθόδους που βασίζονται σε πρότυπα που έχει ανακοινώσει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Ηλεκτροτεχνικής Τυποποίησης (IEC), ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Ηλεκτροτεχνικής Τυποποίησης (CENELEC), καθώς και ο Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης (ΕΛΟΤ) [24] [28].

3.6 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΣΤΟΝ ΦΑΣΜΑΤΙΚΟ ΑΝΑΛΥΤΗ SRM - 3006

ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Η αβεβαιότητα είναι μία παράμετρος που σχετίζεται με το αποτέλεσμα της μέτρησης και χαρακτηρίζει τη μεταβλητότητα των τιμών που μπορεί να αποδοθεί στο μέγεθος μέτρησης. Για την αβεβαιότητα συνεισφέρουν τα τυχαία σφάλματα, η ατελής διόρθωση των γνωστών συστηματικών σφαλμάτων και τα άγνωστα συστηματικά σφάλματα. Η δήλωση της αβεβαιότητας είναι αναγκαία για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων μέτρησης, για τον έλεγχο των αποκλίσεων σε προδιαγραφές, για τον έλεγχο της συμμόρφωσης με τα όρια, για τον εργαστηριακό ποιοτικό έλεγχο, κτλ.

Κάθε μελέτη που βασίζεται πάνω σε μία μέτρηση έχει αβεβαιότητα μέτρησης. Η αβεβαιότητα μέτρησης μπορεί να κυμανθεί είτε σε μία μεγαλύτερη, είτε σε μία μικρότερη τιμή του πραγματικού αποτελέσματος.

Η αβεβαιότητα με τη χρήση της θεωρίας σφαλμάτων διαιρείται κατά κανόνα σε δύο κατηγορίες, με τις οποίες υπολογίζεται.

A) Τυχαία

B) Συστηματική

Η τυχαία ή αλλιώς αβεβαιότητα τύπου A γίνεται με στατιστικές μεθόδους. Αντίθετα, η αβεβαιότητα τύπου B καθορίζεται από τις μετρήσεις που παρέχονται με ακρίβεια από το πεδιόμετρο, όπως στη συγκεκριμένη περίπτωση με τους πίνακες που αναγράφονται στη συνέχεια. Ταυτόχρονα, μπορεί να υπολογιστεί και με άλλους τρόπους, όπως από τη διακριτική ικανότητα του οργάνου [1].

Σε άλλες περιπτώσεις τα δεδομένα βασίζονται στα παρακάτω bullets:

- Παλαιότερες μετρήσεις
- Τεχνογνωσία του χρήστη
- Στοιχεία από τις διακριβώσεις του οργάνου.

ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΤΟΝ ΦΑΣΜΑΤΙΚΟ ΑΝΑΛΥΤΗ

Η αβεβαιότητα για μια δεδομένη μέτρηση εκτιμάται ότι έχει ένα διάστημα εμπιστοσύνης περίπου στο 95,45 %. Με απλούστερα λόγια, η αβεβαιότητα μέτρησης δηλώνεται ως η τυπική αβεβαιότητα πολλαπλασιασμένη με τον συντελεστή κάλυψης $k = 2$ με βάση την κανονική κατανομή. Η αξιολόγηση αυτή πραγματοποιείται σύμφωνα με τους κανόνες του «Guide of the Expression of Uncertainty in Measurement» (GUM) (Πίνακας 3.2) (Πίνακας 3.3).

Μη ανιχνεύσιμη αβεβαιότητα μέτρησης μπορούμε να έχουμε και σε διάφορες κεραίες. Αν η κεραία του αναλυτή δε είναι σωστά προσανατολισμένη με την αντίστοιχη του διπόλου, τότε μπορεί ένα ισχυρά δυνατό πεδίο να μην ανιχνευθεί, το ίδιο ισχύει επίσης και για μια κεραία μονοαξονική (single axis antenna) [25].

Πίνακας 3.2 MEASUREMENT UNCERTAINTY - NARDA SRM - 3006 (27 MHz - 3 GHz)

ΖΩΝΕΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ	Single axis measurement with isotropic antenna	Isotropic Measurement
27 – 85 MHz	+2.4 / -3.3 dB	+3.2 / -4.8 dB
85 – 900 MHz	+2.4 / -3.4 dB	+2.5 / -3.6 dB
900 – 1400 MHz	+2.3 / -3.1 dB	+2.5 / -2.4 dB
1400 – 1600 MHz	+2.3 / -3.1 dB	+2.6 / -3.8 dB
1600 – 1800 MHz	+1.8 / -2.3 dB	+2.2 / -3.0 dB
1800 – 2200 MHz	+1.8 / -2.3 dB	+2.4 / -3.3 dB
2200 – 2700 MHz	+1.9 / -2.4 dB	+2.7 / -3.8 dB
2700 – 3000 MHz	+1.9 / -2.4 dB	+3.3 / -5.3 dB

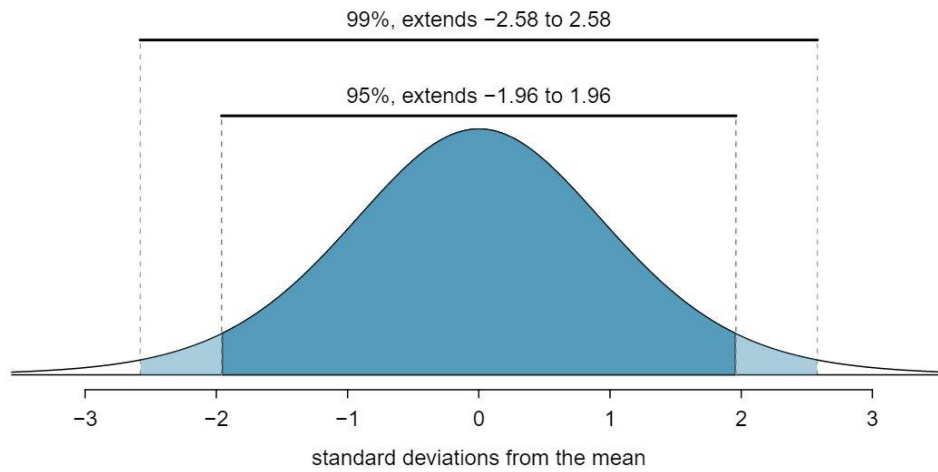
Πίνακας 3.3 MEASUREMENT UNCERTAINTY - NARDA SRM - 3006 (420 MHz - 6 GHz)

ΖΩΝΕΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ	Single axis measurement with isotropic antenna	Isotropic Measurement
420 - 750 MHz	+2.1 / -2.9 dB	+2.6 / -3.8 dB
> 750 - 1600 MHz	+2.0 / -2.7 dB	+2.2 / -2.9 dB
> 1600 - 2000 MHz	+1.7 / -2.2dB	+1.9 / -2.4 dB
> 2000 - 4000 MHz	+1.7 / -2.2dB	+2.0 / -2.6 dB
> 4000 - 4500 MHz	+1.8 / -2.3 dB	+2.2 / -3.0 dB
> 4500 - 5000 MHz	+1.9 / -2.5 dB	+2.5 / -3.5 dB
> 5000 - 6000 MHz	+1.9 / -2.5 dB	+2.9 / -4.3 dB

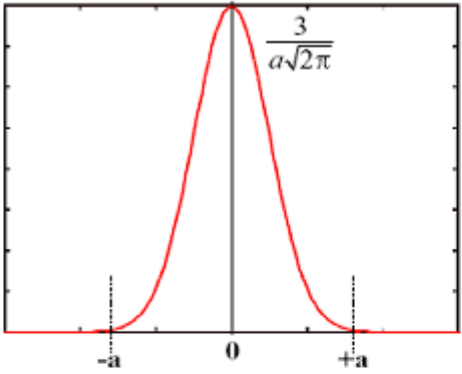
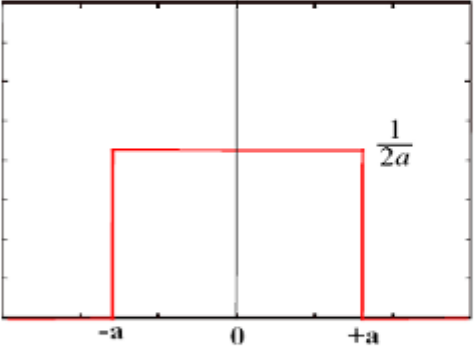
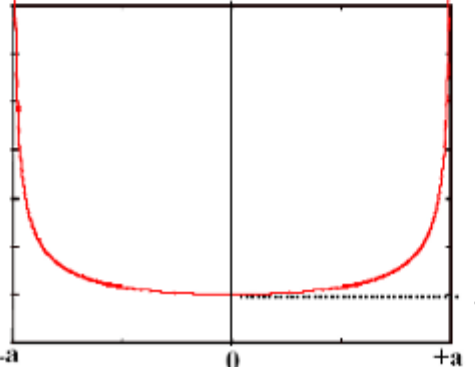
Όπως αναφέρθηκε, ο συντελεστής κ κάλυψης είναι γνωστός από τους δημιουργούς του SRM – 3006, με τιμή $k = 2$ για διάστημα εμπιστοσύνης, περίπου στο 95 %, $u = U/1,96$, δηλαδή για διάστημα εμπιστοσύνης στο 95,45 % (Εικόνα 3.10) [25].

Ενώ, η τυπική αβεβαιότητα τύπου Β όπως παρατηρείται (Εικόνα 3.11), προκύπτει από τον τύπο:

$$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}}$$



Εικόνα 3.10 Διάστημα εμπιστοσύνης [29]

Loi	Représentation graphique	Ecart-type
Normal or Gaussian law $\alpha = 3 \sigma$		$\frac{\alpha}{3}$
Uniform or rectangular law		$\frac{\alpha}{\sqrt{3}}$
Derivative of arcsine law		$\frac{\alpha}{\sqrt{2}}$

Εικόνα 3.11 Υπολογισμός Τυπικής Αβεβαιότητας ($\frac{\alpha}{\sqrt{3}}$) [30]

Σε κάθε περιοχή που πραγματοποιούνται μελέτες, δεν αποτυπώνονται ίδιες μετρήσεις και οι τιμές μεταβάλλονται με μικρή ή μεγαλύτερη απόκλιση.

Για ένα τέτοιο πειραματικό στάδιο χρειάζονται πλήθος μετρήσεων, με όλες τις μεταβλητές που απαιτούνται για να είναι έγκυρη η μέτρηση ίδιες, ώστε να υπάρχει αξιοπιστία στηριγμένη σε ένα επαναλαμβανόμενο μοτίβο.

Αυτές είναι:

- Υψηλότητα
- Γεωγραφικό σημείο
- Συσκευές που εκπέμπουν το αντίστοιχο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο σε ισχύ ή σε αδράνεια
- Average time
- RBW (Hz)
- MR (V/m)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

4.1 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΡΘΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΑΝΑΛΥΤΗ

Ο χρόνος μέτρησης έχει προσαρμοστεί στα έξι λεπτά, με σκοπό να γίνει μια πιο ακριβής μέτρηση και τα δεδομένα να έχουν μεγαλύτερη αξιοπιστία. Ωστόσο, με τα πειράματα σε εξέλιξη δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά στα αποτελέσματα των μετρήσεων με τη διαδικασία του ενός λεπτού, δεδομένου ότι μελετώνται στο μεγαλύτερο μέρος ξεχωριστά οι υπηρεσίες.

Επιλέγουμε το αυστηρότερο όριο 60 %, που αφορά σχολεία, εκπαιδευτικά κέντρα, νοσοκομείο, κέντρα απεξάρτησης κ.α., καθώς αν δεν υπερβαίνονται τα όρια ασφαλούς έκθεσης και ο λόγος έκθεσης, δε θα τίθεται ζητούμενο ούτε στα 70 %, που έχει θέσει η ελληνική νομοθεσία για τις υπόλοιπες κτηριακές μονάδες.

Παράδειγμα μέτρησης (Πίνακας 4.1) της περιοχής σταθμών βάσης κινητών επικοινωνιών GSM 900, ώστε να αναλυθεί ο τρόπος με τον οποίο αποτυπώνεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στον αναλυτή και πως είναι εφικτό να μετρηθεί πόσες φορές είναι κάτω από το όριο ασφαλούς έκθεσης (Πίνακας 4.1.3). Ταυτόχρονα, γίνεται επεξεργασία των δεδομένων, ώστε να βρεθούν τα στατιστικά μεγέθη μέσης και μέγιστης τιμής (Πίνακας 4.1.1) (Πίνακας 4.1.2).

Resolution Bandwidth (RBW): 300 kHz

Measurement Range (MR): 1,6 V/m

Χρόνος Σάρωσης: 1 λεπτό

Πίνακας 4.1 E (V/m) / f (Hz)

Περιοχή Συχνότητων	Μέση τιμή έντασης Ηλεκτρικού πεδίου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (V/m)	Μέγιστη τιμή έντασης Ηλεκτρικού πεδίου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (V/m)	Μέση τιμή λόγου έκθεσης	Μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης
876 - 960 GSM 900	16,89 mV/m	67,06 mV/m	$2,867 \cdot 10^{-7}$	$4,524 \cdot 10^{-6}$
876 - 960 GSM 900	18,01 mV/m	69,78 mV/m	$3,263 \cdot 10^{-7}$	$4,898 \cdot 10^{-6}$
876 - 960 GSM 900	14,47 mV/m	58,05 mV/m	$2,106 \cdot 10^{-7}$	$3,390 \cdot 10^{-6}$

Πίνακας 4.1.1 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέσης τιμής

Δειγματική μέση τιμή λόγου έκθεσης:	$2,745 \cdot 10^{-7}$
Διασπορά μέση τιμή (Variance):	$3,455 \cdot 10^{-15}$
Τυπική απόκλιση μέση τιμή (Standard Deviation):	$5,878 \cdot 10^{-8}$
Τυπικό σφάλμα μέσης τιμής (Standard Error):	$3,394 \cdot 10^{-8}$
Διάμεσος μέσης τιμής:	$2,867 \cdot 10^{-8}$

Πίνακας 4.1.2 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέγιστης τιμής

Δειγματική μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης:	$4,270 \cdot 10^{-6}$
Διασπορά μέγιστη τιμή (Variance):	$6,169 \cdot 10^{-12}$
Τυπική απόκλιση μέγιστη τιμή (Standard Deviation):	$7,854 \cdot 10^{-7}$
Τυπικό σφάλμα μέγιστης τιμής (Standard Error):	$4,534 \cdot 10^{-7}$
Διάμεσος μέγιστης τιμής:	$4,524 \cdot 10^{-6}$

Πίνακας 4.1.3 Φορές Κάτω από το όριο

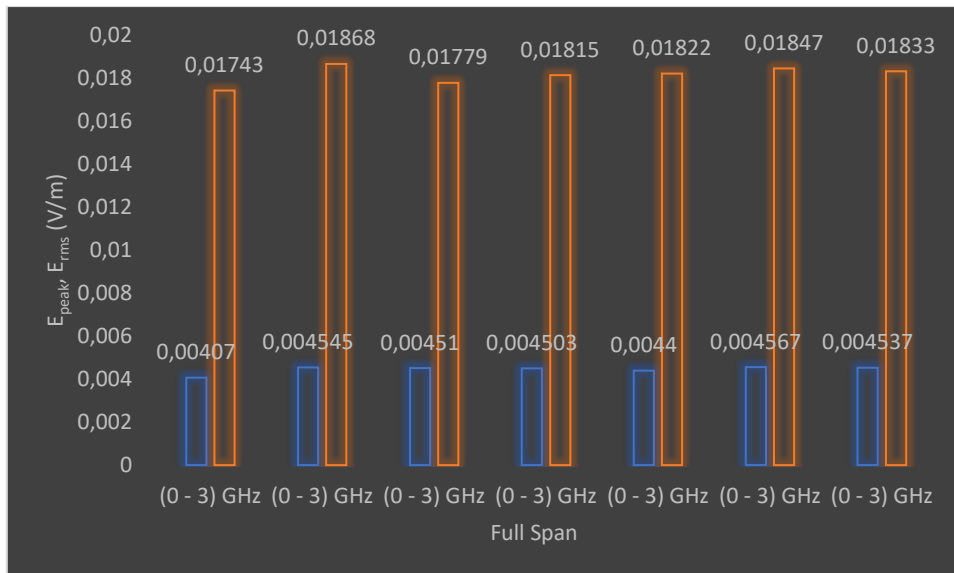
Φορές κάτω από το όριο μέσης τιμής λόγου έκθεσης (60 %)	Φορές κάτω από το όριο μέγιστης τιμής λόγου έκθεσης (60 %)
3.487.723,21 ($2,8672 \cdot 10^{-5}$ %)	221.034,10 ($4,524 \cdot 10^{-4}$ %)
3.064.495,36 ($3,263 \cdot 10^{-5}$ %)	204.138,28 ($4,898 \cdot 10^{-4}$ %)
4.747.328,90 ($2,106 \cdot 10^{-5}$ %)	294.973,06 ($3,390 \cdot 10^{-4}$ %)

Στη συγκεκριμένη μέτρηση (Πίνακας 4.2) έχει προσαρμοστεί ο φασματικός αναλυτής να αντλήσει δεδομένα από ολόκληρο το εύρος της κεραίας. Η διαδικασία έλαβε χώρα στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών υπολογιστών σε διάρκεια χρόνου ενός λεπτού. Το εύρος κάλυψης της ιστροπικής κεραίας του φασματικού αναλυτή καθιστά δυνατό να μελετηθούν και να συγκριθούν στη λειτουργία Integration του φασματικού αναλυτή, η μέση συνολική ένταση του ηλεκτρικού πεδίου E_{rms} και η συνολική μέγιστη ένταση E_{max} του ηλεκτρικού πεδίου (Σχήμα 4.1).

Έχει επιλεγθεί το RBW στα 300 kHz και το MR στα 1,6 V/m, από την επιλογή «search for best measurement value».

Πίνακας 4.2 Full Span

Περιοχή Συχνοτήτων	Μέση τιμή έντασης Ηλεκτρικού πεδίου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (V/m)	Μέγιστη τιμή έντασης Ηλεκτρικού πεδίου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (V/m)
0 - 3 GHz	4,407 mV/m	17,43 mV/m
0 - 3 GHz	4,545 mV/m	18,68 mV/m
0 - 3 GHz	4,510 mV/m	17,79 mV/m
0 - 3 GHz	4,503 mV/m	18,15 mV/m
0 - 3 GHz	4,440 mV/m	18,22 mV/m
0 - 3 GHz	4,567 mV/m	18,47 mV/m
0 - 3 GHz	4,537 mV/m	18,83 mV/m

Σχήμα 4.1 Σύγκριση Μέσης και Μέγιστης τιμής $E_{rms, peak}$

Σε αυτήν την κατηγορία, παρουσιάζονται μετρήσεις σε 3 διαφορετικούς χώρους του τμήματος και συγκεκριμένα στην αίθουσα 1 (Πίνακας 4.5), αίθουσα ηλεκτρονικής (Πίνακας 4.3), στο φουαγιέ (Πίνακας 4.4) και στην αίθουσα 3 (Πίνακας 4.6) στις ζώνες φάσματος Full Span, FM, TV-BAND, GSM 1800 και W-LAN, με σκοπό να συγκριθούν οι τιμές έντασης ηλεκτρικού πεδίου στις διάφορες κατηγορίες από την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Αντίστοιχα, παρουσιάζονται τα στατιστικά αποτελέσματα μέσης (Πίνακας 4.3.1) (Πίνακας 4.4.1) Πίνακας (4.5.1) (Πίνακας 4.6.1) και μέγιστης (Πίνακας 4.3.2) (Πίνακας 4.4.2) (Πίνακας 4.5.2) (Πίνακας 4.6.2) τιμής και παρουσιάζονται πόσες φορές βρίσκονται οι τιμές κάτω από τα προβλεπόμενα επίπεδα (Πίνακας 4.3.3) (Πίνακας 4.4.3) (Πίνακας 4.5.3) (Πίνακας 4.6.3).

14 Μαρτίου 2022 - Αίθουσα Ηλεκτρονικής

Πίνακας 4.3 Μέτρηση Χωρίς την παρουσία Φοιτητών

SERVICE	Μέση τιμή έντασης Ηλεκτρικού πεδίου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (V/m)	Μέγιστη τιμή έντασης Ηλεκτρικού πεδίου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (V/m)	Μέση τιμή λόγου έκθεσης	Μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης
Full Span	13,10 mV/m	50,31 mV/m	$3,644 \cdot 10^{-7}$	$5,375 \cdot 10^{-6}$
FM-Radio	42,57 mV/m	159,9 mV/m	$3,852 \cdot 10^{-5}$	$3,398 \cdot 10^{-4}$
BANDIV	17,73 mV/m	66,77 mV/m	$5,896 \cdot 10^{-6}$	$8,362 \cdot 10^{-6}$
GSM 1800	18,66 mV/m	73,22 mV/m	$1,789 \cdot 10^{-6}$	$2,764 \cdot 10^{-5}$
W-LAN	44,63 mV/m	232,1 mV/m	$8,943 \cdot 10^{-7}$	$2,418 \cdot 10^{-5}$

Πίνακας 4.3.1 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέσης τιμής

Δειγματική μέση τιμή λόγου έκθεσης:	$9,493 \cdot 10^{-6}$
Διασπορά μέση τιμή (Variance):	$2,680 \cdot 10^{-10}$
Τυπική απόκλιση μέση τιμή (Standard Deviation):	$1,637 \cdot 10^{-5}$
Τυπικό σφάλμα μέσης τιμής (Standard Error):	$7,321 \cdot 10^{-6}$
Διάμεσος μέσης τιμής:	$1,789 \cdot 10^{-6}$

Πίνακας 4.3.1 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέγιστης τιμής

Δειγματική μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης:	$8,108 \cdot 10^{-5}$
Διασπορά μέγιστη τιμή (Variance):	$2,102 \cdot 10^{-8}$
Τυπική απόκλιση μέγιστη τιμή (Standard Deviation):	$1,449 \cdot 10^{-4}$
Τυπικό σφάλμα μέγιστης τιμής (Standard Error):	$6,484 \cdot 10^{-5}$
Διάμεσος μέγιστης τιμής:	$2,418 \cdot 10^{-5}$

Πίνακας 4.3.3 Φορές κάτω από το όριο

Φορές κάτω από το όριο μέσης τιμής λόγου έκθεσης (60 %)	Φορές κάτω από το όριο μέγιστης τιμής λόγου έκθεσης (60 %)
2.743.950,96 (3,644·10 ⁻⁵ %)	186.042,01 (5,375·10 ⁻⁴ %)
25.960,08 (3,852·10 ⁻³ %)	2.942,15 (3,398·10 ⁻² %)
169.601,91 (5,896·10 ⁻⁴ %)	119.587,32 (8,362·10 ⁻⁴ %)
558.816,24 (1,789·10 ⁻⁴ %)	36.177,22 (2,764·10 ⁻³ %)
1.118.193,00 (8,943·10 ⁻⁵ %)	41.355,55 (2,418·10 ⁻³ %)

14 Μαρτίου 2022 - Φουαγιέ

Πίνακας 4.4 Χωρίς την παρουσία Φοιτητών

SERVICE	Μέση τιμή έντασης Ηλεκτρικού πεδίου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (V/m)	Μέγιστη τιμή έντασης Ηλεκτρικού πεδίου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (V/m)	Μέση τιμή λόγου έκθεσης	Μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης
Full Span	13,52 mV/m	53,92 mV/m	3,881·10 ⁻⁷	6,174·10 ⁻⁶
FM-Radio	41,32 mV/m	160,45 mV/m	3,629·10 ⁻⁶	5,472·10 ⁻⁵
BANDIV	16,63 mV/m	62,86 mV/m	5,187·10 ⁻⁷	7,406·10 ⁻⁶
GSM 1800	31,89 mV/m	239,1 mV/m	5,241·10 ⁻⁷	2,975·10 ⁻⁵
W-LAN	52,35 mV/m	337,6 mV/m	1,230·10 ⁻⁵	5,115·10 ⁻⁵

Πίνακας 4.4.1 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέσης τιμής

Δειγματική μέση τιμή λόγου έκθεσης:	3,472·10 ⁻⁶
Διασπορά μέση τιμή (Variance):	2,622·10 ⁻¹¹
Τυπική απόκλιση μέση τιμή (Standard Deviation):	5,121·10 ⁻⁶
Τυπικό σφάλμα μέσης τιμής (Standard Error):	2,290·10 ⁻⁶
Διάμεσος μέσης τιμής:	5,241·10 ⁻⁷

Πίνακας 4.4.2 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέγιστης τιμής

Δειγματική μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης:	2,984·10 ⁻⁵
Διασπορά μέγιστη τιμή (Variance):	5,342·10 ⁻¹⁰
Τυπική απόκλιση μέγιστη τιμή (Standard Deviation):	2,311·10 ⁻⁵
Τυπικό σφάλμα μέγιστης τιμής (Standard Error):	1,033·10 ⁻⁵
Διάμεσος μέγιστης τιμής:	2,975·10 ⁻⁵

Πίνακας 4.4.3 Φορές κάτω από το όριο

Φορές κάτω από το όριο μέσης τιμής λόγου έκθεσης (60 %)	Φορές κάτω από το όριο μέγιστης τιμής λόγου έκθεσης (60 %)
2.576.117,84 ($3,881 \cdot 10^{-5}$ %)	161.964,56 ($6,174 \cdot 10^{-4}$ %)
275.548,77 ($3,629 \cdot 10^{-4}$ %)	18.274,25 ($5,472 \cdot 10^{-3}$ %)
1.927.813,28 ($5,187 \cdot 10^{-5}$ %)	135.012,97 ($7,406 \cdot 10^{-4}$ %)
1.907.769,27 ($5,241 \cdot 10^{-5}$ %)	33.605,22 ($2,975 \cdot 10^{-3}$ %)
81.292,52 ($1,230 \cdot 10^{-3}$ %)	19.546,95 ($5,115 \cdot 10^{-3}$ %)

14 Μαρτίου 2022 - Αίθουσα 1

Πίνακας 4.5 Χωρίς την παρουσία Φοιτητών

SERVICE	Μέση τιμή έντασης Ηλεκτρικού πεδίου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (V/m)	Μέγιστη τιμή έντασης Ηλεκτρικού πεδίου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (V/m)	Μέση τιμή λόγου έκθεσης	Μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης
Full Span	4,605 mV/m	18,27 mV/m	$4,503 \cdot 10^{-8}$	$7,088 \cdot 10^{-7}$
FM-Radio	43,30 mV/m	161,56 mV/m	$3,985 \cdot 10^{-6}$	$5,548 \cdot 10^{-5}$
BANDIV	19,11 mV/m	66,08 mV/m	$6,849 \cdot 10^{-7}$	$8,190 \cdot 10^{-6}$
GSM 1800	19,32 mV/m	75,56 mV/m	$1,924 \cdot 10^{-7}$	$2,943 \cdot 10^{-6}$
W-LAN	68,94 mV/m	491,5 mV/m	$2,133 \cdot 10^{-6}$	$1,084 \cdot 10^{-4}$

Πίνακας 4.5.1 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέσης τιμής

Δειγματική μέση τιμή λόγου έκθεσης:	$1,408 \cdot 10^{-6}$
Διασπορά μέση τιμή (Variance):	$2,756 \cdot 10^{-12}$
Τυπική απόκλιση μέση τιμή (Standard Deviation):	$1,660 \cdot 10^{-6}$
Τυπικό σφάλμα μέσης τιμής (Standard Error):	$7,425 \cdot 10^{-7}$
Διάμεσος μέσης τιμής:	$6,849 \cdot 10^{-7}$

Πίνακας 4.5.2 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέγιστης τιμής

Δειγματική μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης:	$3,515 \cdot 10^{-5}$
Διασπορά μέγιστη τιμή (Variance):	$2,183 \cdot 10^{-9}$
Τυπική απόκλιση μέγιστη τιμή (Standard Deviation):	$4,672 \cdot 10^{-5}$
Τυπικό σφάλμα μέγιστης τιμής (Standard Error):	$2,089 \cdot 10^{-5}$
Διάμεσος μέγιστης τιμής:	$8,190 \cdot 10^{-6}$

Πίνακας 4.5.3 Φορές κάτω από το όριο

Φορές κάτω από το όριο μέσης τιμής λόγου έκθεσης (60) %	Φορές κάτω από το όριο μέγιστης τιμής λόγου έκθεσης (60) %
22.205.494,08 ($4,503 \cdot 10^{-6}$ %)	1.410.725,74 ($7,088 \cdot 10^{-5}$ %)
250.924,64 ($3,985 \cdot 10^{-4}$ %)	18.024,00 ($5,548 \cdot 10^{-3}$ %)
1.459.911,37 ($6,849 \cdot 10^{-5}$ %)	122.097,78 ($8,190 \cdot 10^{-4}$ %)
5.196.134,40 ($1,924 \cdot 10^{-5}$ %)	339.711,87 ($2,943 \cdot 10^{-4}$ %)
468.750,17 ($2,133 \cdot 10^{-4}$ %)	9.222,25 ($1,084 \cdot 10^{-2}$ %)

15 Απριλίου 2022 - Αίθουσα 3

Πίνακας 4.6 Με την παρουσία Φοιτητών

SERVICE	Μέση τιμή έντασης Ηλεκτρικού πεδίου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (V/m)	Μέγιστη τιμή έντασης Ηλεκτρικού πεδίου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (V/m)	Μέση τιμή λόγου έκθεσης	Μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης
Full Span	13,76 mV/m	51,59 mV/m	$4,020 \cdot 10^{-7}$	$5,652 \cdot 10^{-6}$
FM-Radio	18,95 mV/m	72,83 mV/m	$7,633 \cdot 10^{-7}$	$1,127 \cdot 10^{-5}$
BANDIV	7,102 mV/m	35,07 mV/m	$9,460 \cdot 10^{-8}$	$2,306 \cdot 10^{-6}$
GSM 1800	6,312 mV/m	24,88 mV/m	$2,054 \cdot 10^{-8}$	$3,191 \cdot 10^{-7}$
W-LAN	50,91 mV/m	3,547 V/m	$1,163 \cdot 10^{-6}$	$5,647 \cdot 10^{-3}$

Πίνακας 4.6.1 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέσης τιμής

Δειγματική μέση τιμή λόγου έκθεσης:	$4,020 \cdot 10^{-7}$
Διασπορά μέση τιμή (Variance):	$7,633 \cdot 10^{-7}$
Τυπική απόκλιση μέση τιμή (Standard Deviation):	$9,460 \cdot 10^{-8}$
Τυπικό σφάλμα μέσης τιμής (Standard Error):	$2,054 \cdot 10^{-8}$
Διάμεσος μέσης τιμής:	$1,163 \cdot 10^{-6}$

Πίνακας 4.6.2 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέγιστης τιμής

Δειγματική μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης:	$1,133 \cdot 10^{-3}$
Διασπορά μέγιστη τιμή (Variance):	$6,367 \cdot 10^{-6}$
Τυπική απόκλιση μέγιστη τιμή (Standard Deviation):	$2,523 \cdot 10^{-3}$
Τυπικό σφάλμα μέγιστης τιμής (Standard Error):	$1,128 \cdot 10^{-3}$
Διάμεσος μέγιστης τιμής:	$5,652 \cdot 10^{-6}$

Πίνακας 4.6.3 Φορές κάτω από το όριο

Φορές κάτω από το όριο μέσης τιμής λόγου έκθεσης (60 %)	Φορές κάτω από το όριο μέγιστης τιμής λόγου έκθεσης (60 %)
2.487.036,32 ($4,020 \cdot 10^{-4}$ %)	176.924,76 ($5,652 \cdot 10^{-4}$ %)
1.310.088,86 ($7,633 \cdot 10^{-5}$ %)	89.169,39 ($1,127 \cdot 10^{-3}$ %)
10.570.280,93 ($9,460 \cdot 10^{-6}$ %)	433.487,25 ($2,306 \cdot 10^{-4}$ %)
48.681.130,80 ($2,054 \cdot 10^{-6}$ %)	3.133.241,49 ($3,191 \cdot 10^{-5}$ %)
859.563,17 ($1,163 \cdot 10^{-4}$ %)	177,07 (0,564 %)

4.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

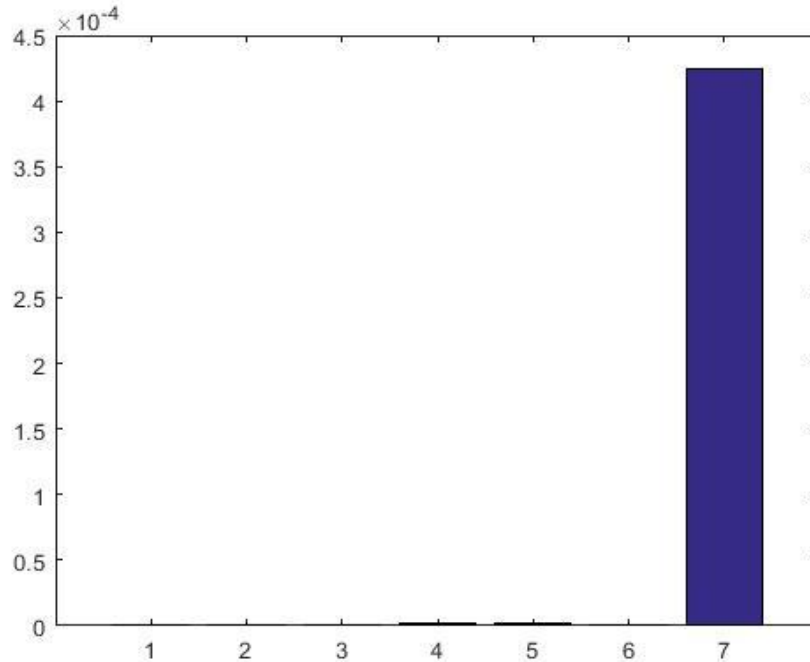
4.2.1 ΥΠΗΡΕΣΙΑ W-LAN

Οι παρακάτω μετρήσεις έγιναν στη ζώνη W-LAN (Wireless LAN). Είναι η φασματική ζώνη μεταξύ των περιοχών 2,4 GHz - 2,484 GHz, δηλαδή, το ασύρματο τοπικό δίκτυο, ώστε να υπάρχει απομακρυσμένη σύνδεση.

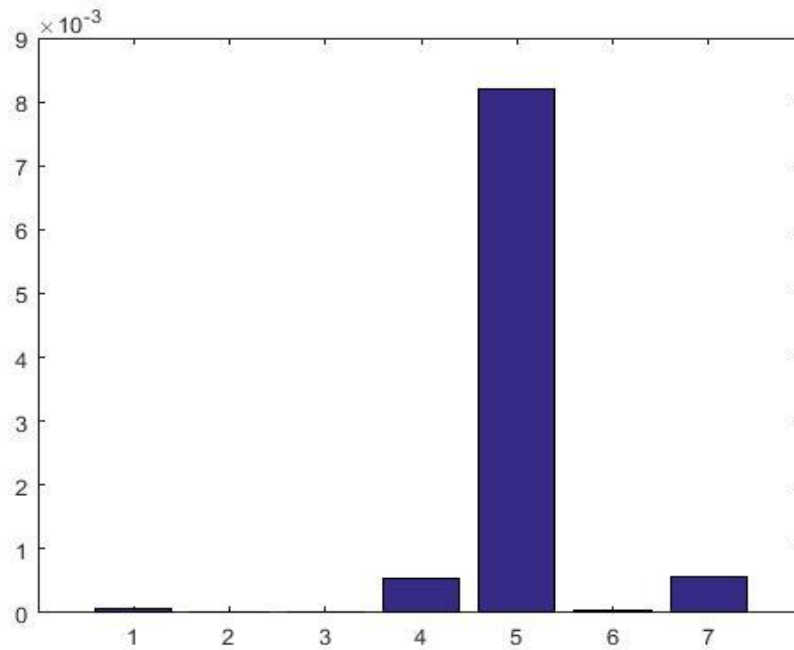
Στις παρακάτω μετρήσεις, (Πίνακας 4.7) καταγράφονται τα αποτελέσματα για την περιοχή του W-LAN του τμήματος στις αίθουσες τηλεπικοινωνιών, εργαστήριων υπολογιστών και στον κεντρικό διάδρομο της σχολής υπό την παρουσία φοιτητών και χωρίς, ώστε με τις 7 μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν να λάβουμε υπόψιν πώς κυμαίνονται οι τιμές με τη χρήση του W-LAN από τους φοιτητές μέσω κινητών τηλεφώνων και λοιπών φορητών συσκευών και πώς με την αδρανή συμπεριφορά και μόνο με την εκπομπή ηλεκτρομαγνητικού πεδίου από τα router του τμήματος, καθώς και την εξέλιξη της μέσης και μέγιστης τιμής του λόγου έκθεσης (Σχήμα 4.2) (Σχήμα 4.3). Αντίστοιχα, παρουσιάζονται τα στατιστικά αποτελέσματα μέσης (Πίνακας 4.7.1) και μέγιστης (Πίνακας 4.7.2) τιμής και παρουσιάζονται πόσες φορές βρίσκονται οι τιμές κάτω από τα προβλεπόμενα επίπεδα (Πίνακας 4.7.3).

Πίνακας 4.7 W-LAN

Περιοχή Συχνότητας	Αυστηρότερο όριο έντασης ηλεκτρικού πεδίου (V/m)	Μέση τιμή έντασης Ηλεκτρικού πεδίου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (V/m)	Μέγιστη τιμή έντασης Ηλεκτρικού πεδίου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (V/m)	Μέση τιμή λόγου έκθεσης	Μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης
2,4 - 2,484 GHz	47,2 V/m - 60 %	31,61 mV/m	407,3 mV/m	$4,485 \cdot 10^{-7}$	$7,446 \cdot 10^{-5}$
2,4 - 2,484 GHz	47,2 V/m - 60 %	15,33 mV/m	138,3 mV/m	$1,054 \cdot 10^{-7}$	$8,585 \cdot 10^{-6}$
2,4 - 2,484 GHz	47,2 V/m - 60 %	15,23 mV/m	217,1 mV/m	$1,041 \cdot 10^{-7}$	$2,115 \cdot 10^{-5}$
2,4 - 2,484 GHz	47,2 V/m - 60 %	64,70 mV/m	1,105 V/m	$1,878 \cdot 10^{-6}$	$5,480 \cdot 10^{-4}$
2,4 - 2,484 GHz	47,2 V/m - 60 %	72,43 mV/m	4,276 V/m	$2,354 \cdot 10^{-6}$	$8,207 \cdot 10^{-3}$
2,4 - 2,484 GHz	47,2 V/m - 60 %	32,09 mV/m	292,4 mV/m	$4,622 \cdot 10^{-7}$	$3,837 \cdot 10^{-5}$
2,4 - 2,484 GHz	47,2 V/m - 60 %	97,29 mV/m	1,112 V/m	$4,248 \cdot 10^{-4}$	$5,550 \cdot 10^{-4}$



Σχήμα 4.2 Μέση τιμή λόγου έκθεσης W-LAN



Σχήμα 4.3 Μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης W-LAN

Πίνακας 4.7.1 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέσης τιμής

Δειγματική μέση τιμή λόγου έκθεσης:	$6,146 \cdot 10^{-6}$
Διασπορά μέση τιμή (Variance):	$2,567 \cdot 10^{-8}$
Τυπική απόκλιση μέση τιμή (Standard Deviation):	$1,602 \cdot 10^{-4}$
Τυπικό σφάλμα μέσης τιμής (Standard Error):	$6,056 \cdot 10^{-5}$
Διάμεσος μέσης τιμής:	$4,622 \cdot 10^{-7}$

Πίνακας 4.7.2 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέγιστης τιμής

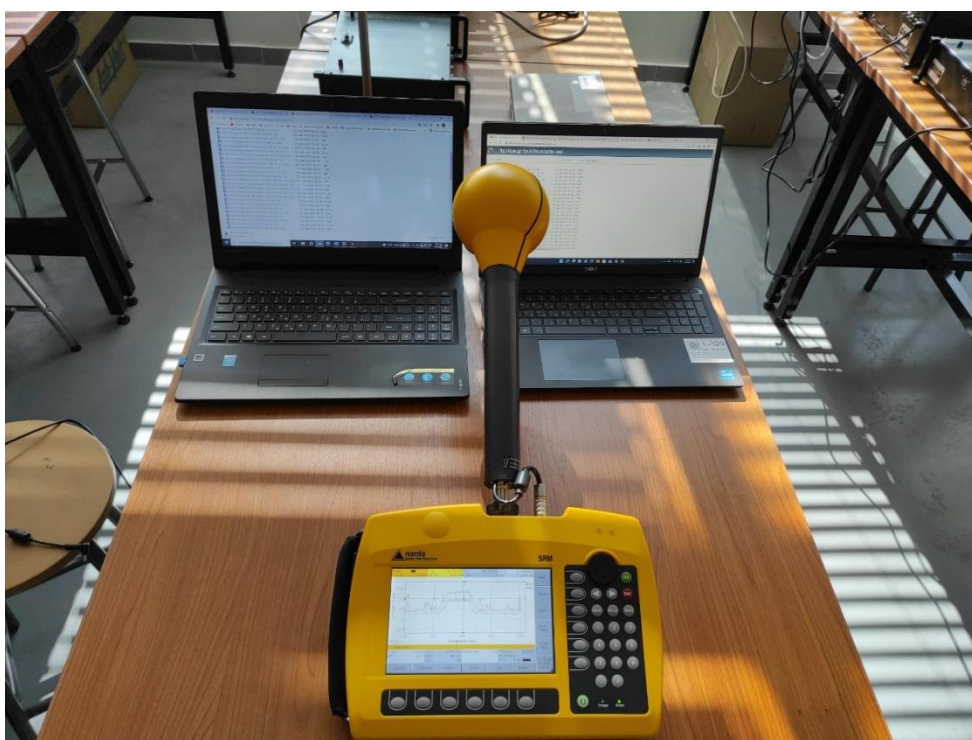
Δειγματική μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης:	$1,350 \cdot 10^{-3}$
Διασπορά μέγιστη τιμή (Variance):	$9,201 \cdot 10^{-7}$
Τυπική απόκλιση μέγιστη τιμή (Standard Deviation):	$3,033 \cdot 10^{-3}$
Τυπικό σφάλμα μέγιστης τιμής (Standard Error):	$1,146 \cdot 10^{-3}$
Διάμεσος μέγιστης τιμής:	$7,446 \cdot 10^{-5}$

Πίνακας 4.7.3 Φορές κάτω από το όριο

Φορές κάτω από το όριο μέσης τιμής λόγου έκθεσης (60 %)	Φορές κάτω από το όριο μέγιστης τιμής λόγου έκθεσης (60 %)
2.229.639,48 ($4,485 \cdot 10^{-5}$ %)	13.429,36 ($7,446 \cdot 10^{-3}$ %)
9.479.841,11 ($1,054 \cdot 10^{-5}$ %)	116.476,80 ($8,585 \cdot 10^{-4}$ %)
9.604.671,71 ($1,041 \cdot 10^{-5}$ %)	47.267,69 ($2,115 \cdot 10^{-3}$ %)
532.200,81 ($1,878 \cdot 10^{-4}$ %)	18,24 ($5,480 \cdot 10^{-2}$ %)
424.666,31 ($2,354 \cdot 10^{-4}$ %)	121,84 (0,820%)
2.163.439,17 ($4,622 \cdot 10^{-5}$ %)	26.057,27 ($3,837 \cdot 10^{-3}$ %)
2.353,68 ($4,248 \cdot 10^{-2}$ %)	1.801,66 ($5,550 \cdot 10^{-2}$ %)

Μέτρηση στο εργαστήριο τηλεπικοινωνιών: 4/3/2022

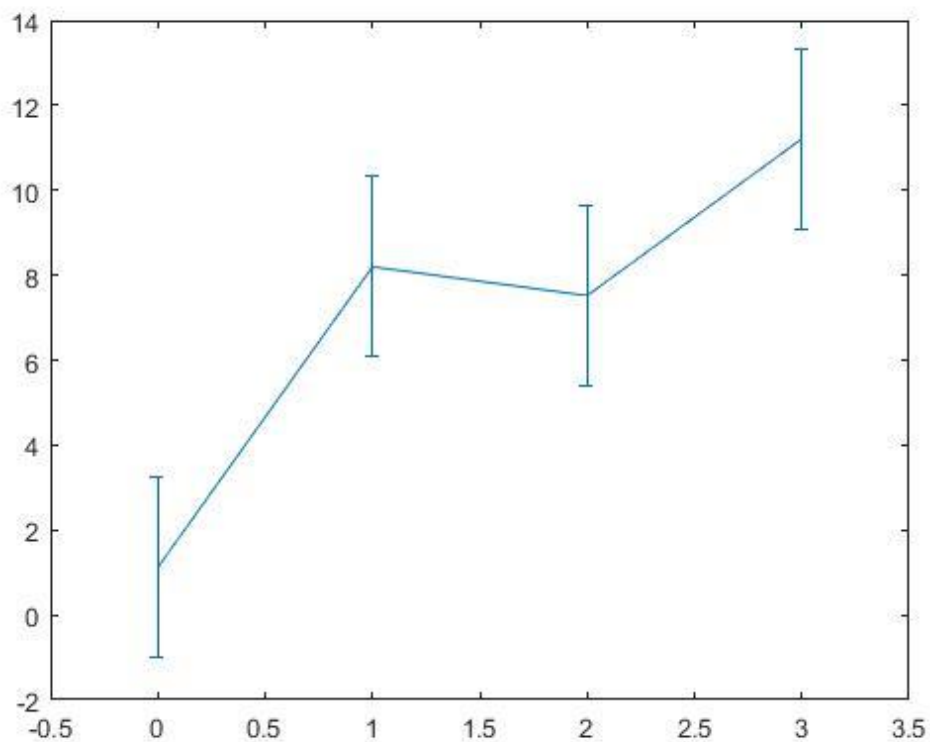
Χρησιμοποιήθηκαν τρεις ασύρματες συσκευές με σκοπό να υπολογιστεί το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο (Πίνακας 4.7.4) που εκπέμπεται, είτε κατεβάζοντας ένα αρχείο των 3,3 Gigabyte με τη χρήση μόνο της μίας, είτε αντλώντας δεδομένα από το μηχάνημα κατεβάζοντας με τις δύο συσκευές το ίδιο αρχείο (Εικόνα 4.1) και αντίστοιχα με την παρουσία και των τριών. Επίσης, γίνεται αναφορά στην κατανομή της τιμής με τα σχήματα παρουσίασης και αποτυπώνεται και το σφάλμα των τιμών (Σχήμα 4.4) (Σχήμα 4.5) (Σχήμα 4.6).

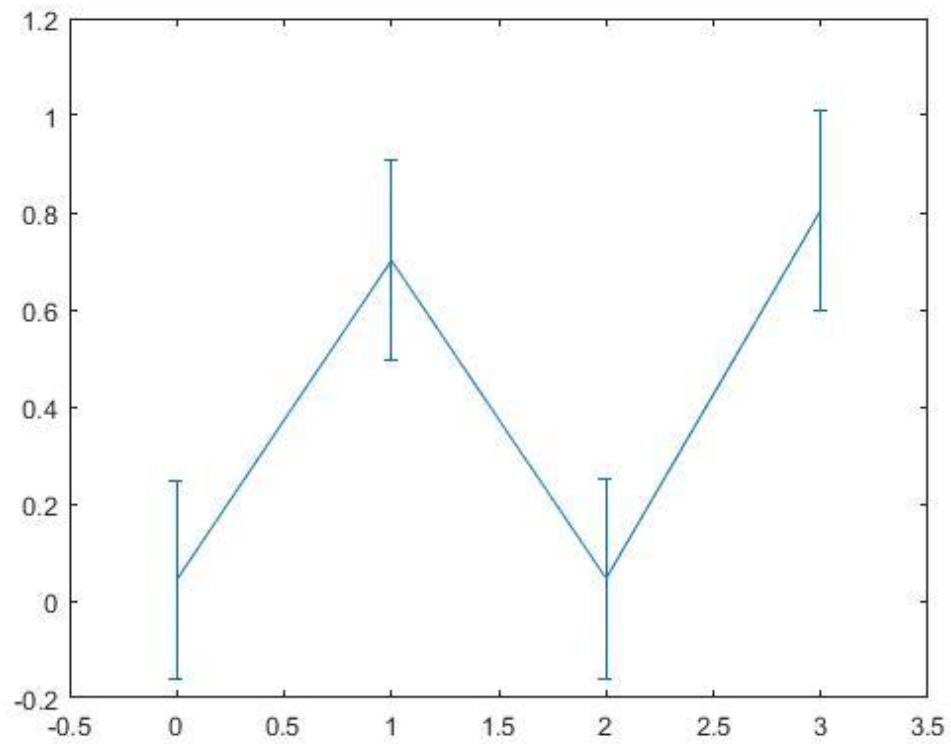
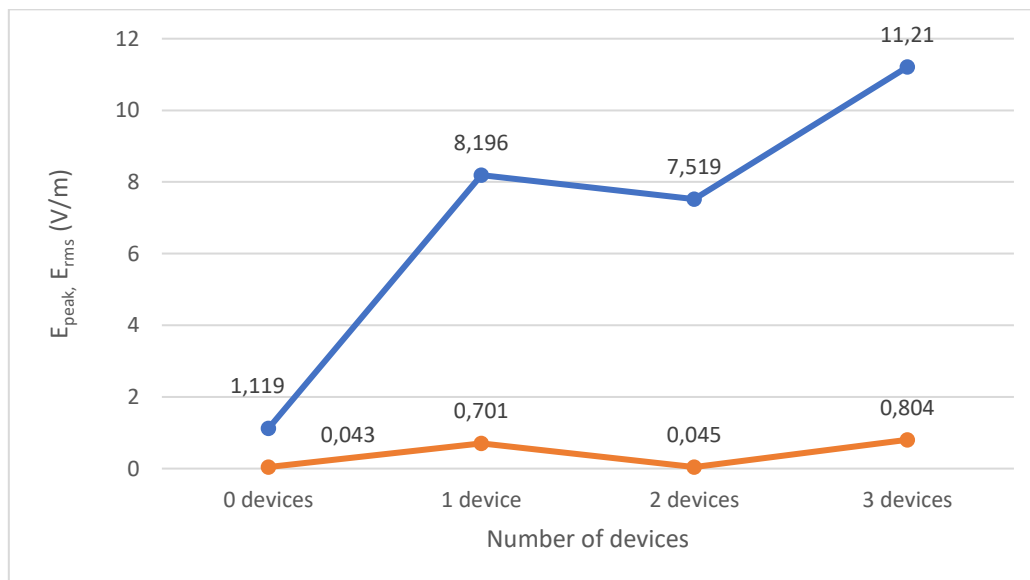


Εικόνα 4.1 Παρουσίαση Πειράματος με δύο συσκευές

Πίνακας 4.7.4 Download 3,3 Gb αρχείο από το server των Η.Μ.Μ.Υ του Ε.Μ.Π

Ώρα καταγραφής μέτρησης	Αριθμός devices	E_{peak} (V/m)	E_{rms} (V/m)
11:00:00	0	1,119 V/m	0,043 V/m
11:05:00	1	8,196 V/m	0,701 V/m
11:10:00	2	7,519 V/m	0,045 V/m
11:40:00	3	11,21 V/m	0,804 V/m

Σχήμα 4.4 E_{peak}

Σχήμα 4.5 E_{rms} 

Σχήμα 4.6 Γράφημα Παρουσίασης download αρχείων στα 3.3 Gb

Μέτρηση στο εργαστήριο τηλεπικοινωνιών: 4/3/2022

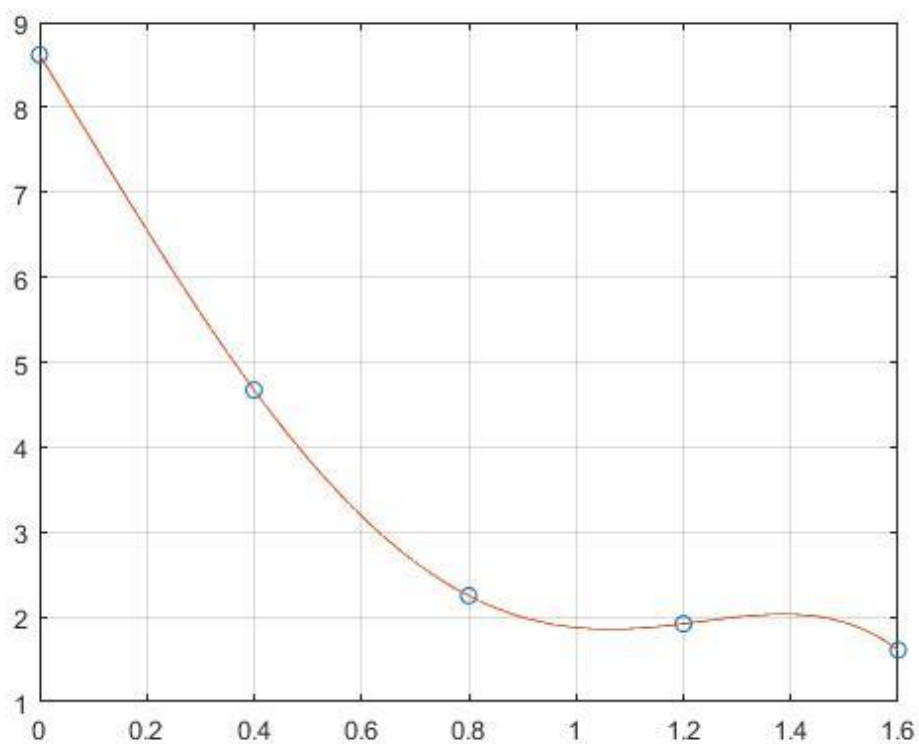
Πραγματοποιήθηκε μέτρηση στο εργαστήριο τηλεπικοινωνιών, στην υπηρεσία WLAN με τη χρήση μίας φορητής συσκευής (Εικόνα 4.2) και απομακρυσμένη τη χρήση φορητών κινητών τηλεφώνων. Με σταθερή απομάκρυνση παρατηρείται η εξέλιξη της τιμής Integration που εκπέμπεται (Σχήμα 4.7), καθώς και της μέγιστης τιμής (Σχήμα 4.8) (Σχήμα 4.9) από τη λειτουργία LEVEL RECORDER (Πίνακας 4.7.5) .

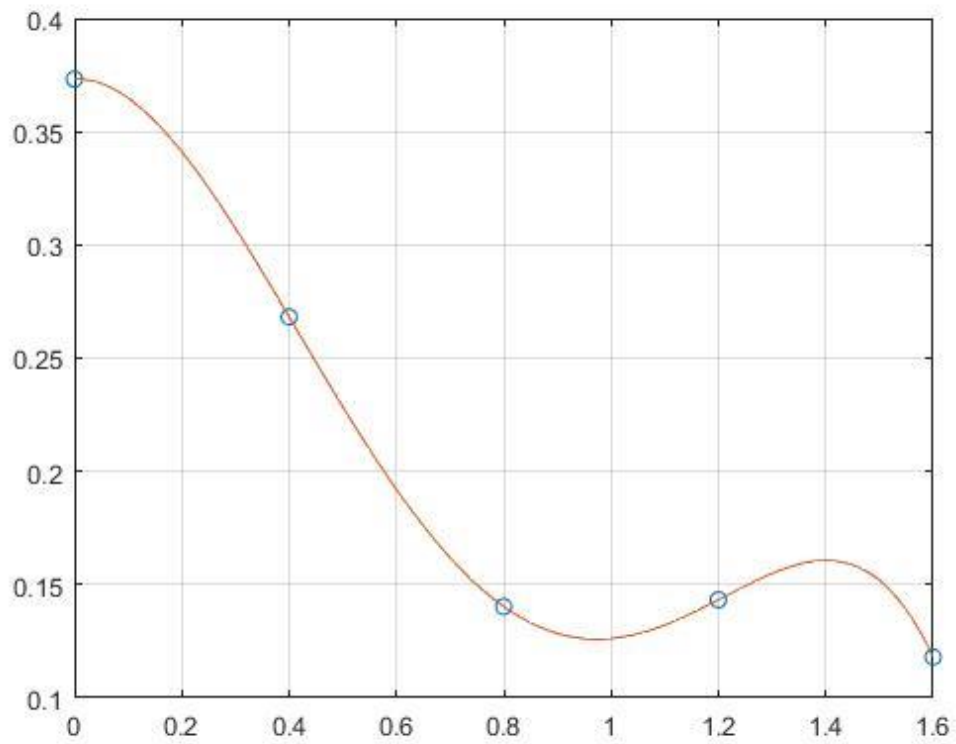


Εικόνα 4.2 Παρουσίαση Πειράματος στα 0 μ.

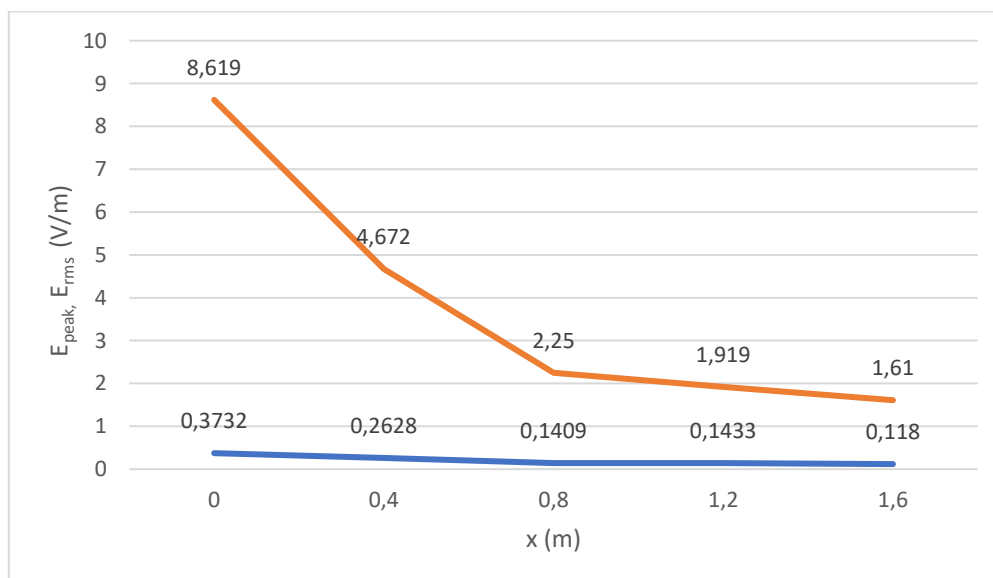
Πίνακας 4.7.5 Αποτελέσματα Απομάκρυνσης από πηγή εκπομπής

Ώρα καταγραφής μέτρησης	Απόσταση	E_{peak} (V/m)	E_{rms} (V/m)
11:55:00	0,0 μ.	8,619 V/m	0,373 V/m
11:59:00	0,4 μ.	4,672 V/m	0,262 V/m
12:02:00	0,8 μ.	2,250 V/m	0,140 V/m
12:06:00	1,2 μ.	1,919 V/m	0,143 V/m
12:10:00	1,6 μ.	1,610 V/m	0,118 V/m

Σχήμα 4.7 Γράφημα παρουσίασης εξέλιξης απομάκρυνσης από συσκευή E_{peak} (V/m) - x (m)



Σχήμα 4.8 Γράφημα παρουσίασης εξέλιξης απομάκρυνσης από συσκευή E_{rms} (V/m) - x (m)



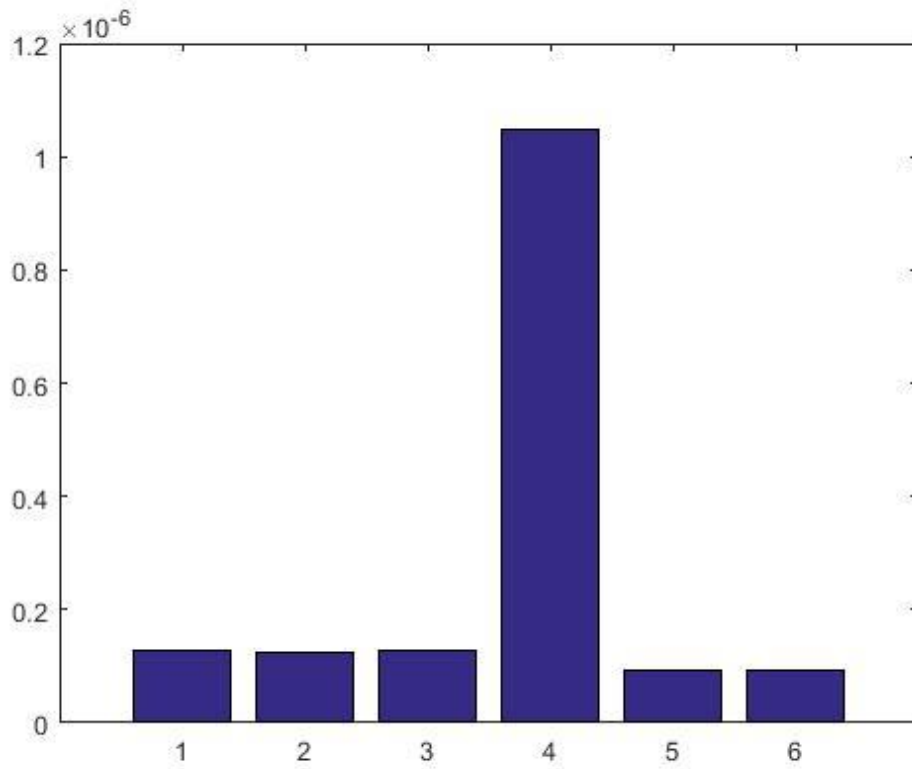
Σχήμα 4.9 Αποτελέσματα W-LAN

4.2.2 ΥΠΗΡΕΣΙΑ GSM 1800

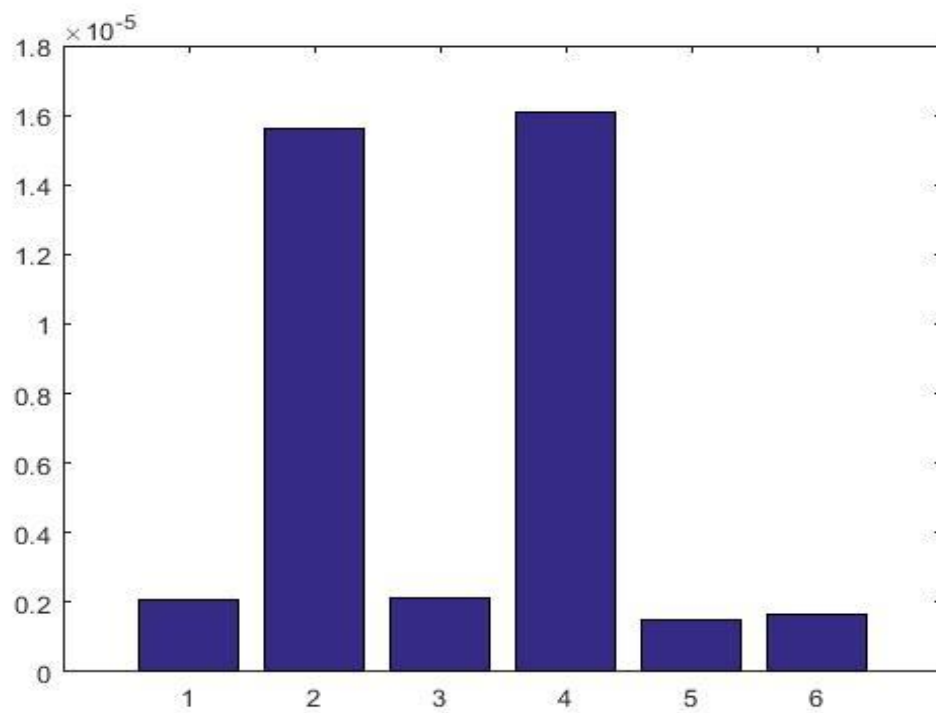
Οι υπηρεσίες DCS - GSM 1800 (Global System for Mobile Communications-παγκόσμιο σύστημα κινητών επικοινωνιών) είναι μία φασματική ζώνη κινητής τηλεφωνίας. Η περιοχή του GSM 1800 (1710 - 1880) MHz, αποτελεί τη γενιά κινητής μέσα στην οποία περιλαμβάνεται σε πραγματικό χρόνο η μετάδοση ήχου και εικόνας [31]. Στην παρούσα φάση της εργασίας μελετάται ο καλός έλεγχος της φασματικής ζώνης (Πίνακας 4.8) και μελετάται ο λόγος έκθεσης μέσης και μέγιστης τιμής (Σχήμα 4.10) (Σχήμα 4.11). Γίνονται αντικείμενο αναφοράς τα στατιστικά μεγέθη στην υπηρεσία GSM 1800 και γίνεται έκθεση των τιμών μέσης (Πίνακας 4.8.1) και μέγιστης (Πίνακας 4.8.2) τιμής. Τέλος, δείχνεται πόσες φορές ο λόγος έκθεσης είναι κάτω από τα επίπεδα αναφοράς (Πίνακας 4.8.3).

Πίνακας 4.8 DCS 1800 - GSM 1800

Περιοχή Συχνότητας	Αυστηρότερο όριο έντασης ηλεκτρικού πεδίου (V/m)	Μέση τιμή έντασης Ηλεκτρικού πεδίου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (V/m)	Μέγιστη τιμή έντασης Ηλεκτρικού πεδίου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (V/m)	Μέση τιμή λόγου έκθεσης	Μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης
1710 - 1880 MHz	45,2 V/m - 60 %	15,72 mV/m	63,01 mV/m	$1,274 \cdot 10^{-7}$	$2,047 \cdot 10^{-6}$
1710 - 1880 MHz	45,2 V/m - 60 %	15,42 mV/m	55,03 mV/m	$1,225 \cdot 10^{-7}$	$1,561 \cdot 10^{-5}$
1710 - 1880 MHz	45,2 V/m - 60 %	15,74 mV/m	64,16 mV/m	$1,277 \cdot 10^{-7}$	$2,122 \cdot 10^{-6}$
1710 - 1880 MHz	45,2 V/m - 60 %	45,08 mV/m	176,6 mV/m	$1,047 \cdot 10^{-6}$	$1,608 \cdot 10^{-5}$
1710 - 1880 MHz	45,2 V/m - 60 %	13,35 mV/m	53,75 mV/m	$9,188 \cdot 10^{-8}$	$1,489 \cdot 10^{-6}$
1710 - 1880 MHz	45,2 V/m - 60 %	13,31 mV/m	56,81 mV/m	$9,134 \cdot 10^{-8}$	$1,664 \cdot 10^{-6}$



Σχήμα 4.10 Μέση τιμή λόγου έκθεσης GSM 1800



Σχήμα 4.11 Μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης GSM 1800

Πίνακας 4.8.1 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέσης τιμής

Δειγματική μέση τιμή λόγου έκθεσης:	$2,681 \cdot 10^{-7}$
Διασπορά μέση τιμή(Variance):	$1,461 \cdot 10^{-13}$
Τυπική απόκλιση μέση τιμή (Standard Deviation):	$3,823 \cdot 10^{-7}$
Τυπικό σφάλμα μέσης τιμής(Standard Error):	$1,560 \cdot 10^{-7}$
Διάμεσος μέσης τιμής:	$1,250 \cdot 10^{-7}$

Πίνακας 4.8.2 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέγιστης τιμής

Δειγματική μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης:	$6,502 \cdot 10^{-6}$
Διασπορά μέγιστη τιμή(Variance):	$5,246 \cdot 10^{-11}$
Τυπική απόκλιση μέγιστη τιμή (Standard Deviation):	$7,243 \cdot 10^{-6}$
Τυπικό σφάλμα μέγιστης τιμής(Standard Error):	$2,957 \cdot 10^{-6}$
Διάμεσος μέγιστης τιμής:	$2,084 \cdot 10^{-6}$

Πίνακας 4.8.3 Φορές κάτω από το όριο

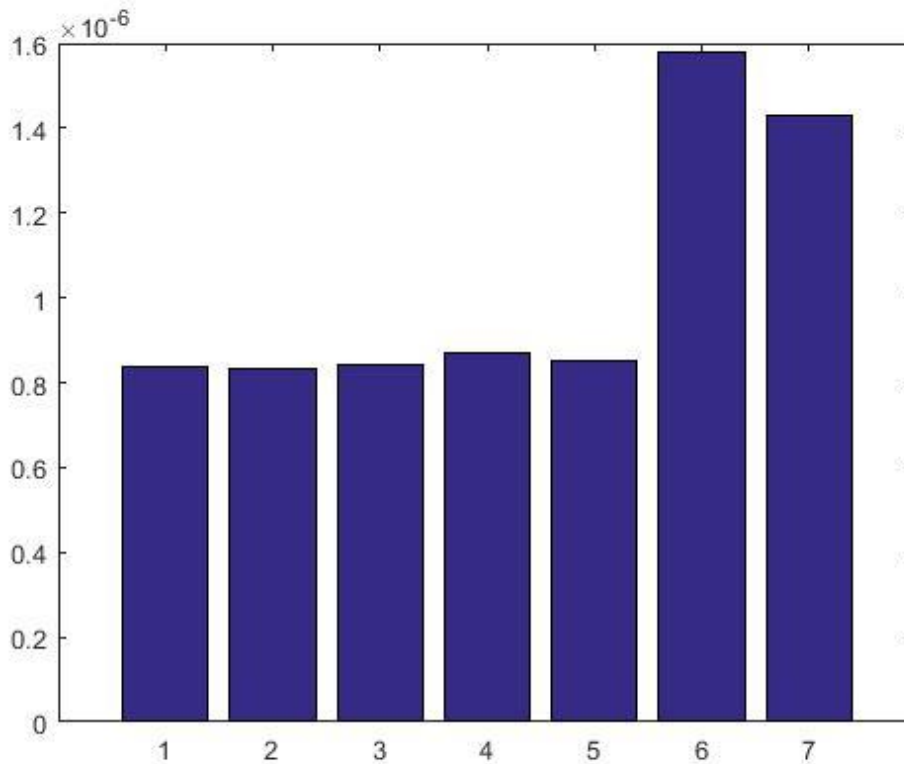
Φορές κάτω από το όριο μέσης τιμής λόγου έκθεσης (60 %)	Φορές κάτω από το όριο μέγιστης τιμής λόγου έκθεσης (60 %)
7.848.554,29 ($1,274 \cdot 10^{-5}$ %)	488.512,62 ($2,047 \cdot 10^{-4}$ %)
8.156.939,51 ($1,225 \cdot 10^{-5}$ %)	64.046,72 ($1,561 \cdot 10^{-3}$ %)
7.828.646,58 ($1,277 \cdot 10^{-5}$ %)	471.158,05 ($2,122 \cdot 10^{-4}$ %)
954.389,71 ($1,047 \cdot 10^{-4}$ %)	62.189,05 ($1,608 \cdot 10^{-3}$ %)
10.882.588,83 ($9,188 \cdot 10^{-6}$ %)	671.334,68 ($1,489 \cdot 10^{-4}$ %)
10.948.093,99 ($9,134 \cdot 10^{-6}$ %)	600.957,92 ($1,664 \cdot 10^{-4}$ %)

4.2.3 ΥΠΗΡΕΣΙΑ FM-RADIO

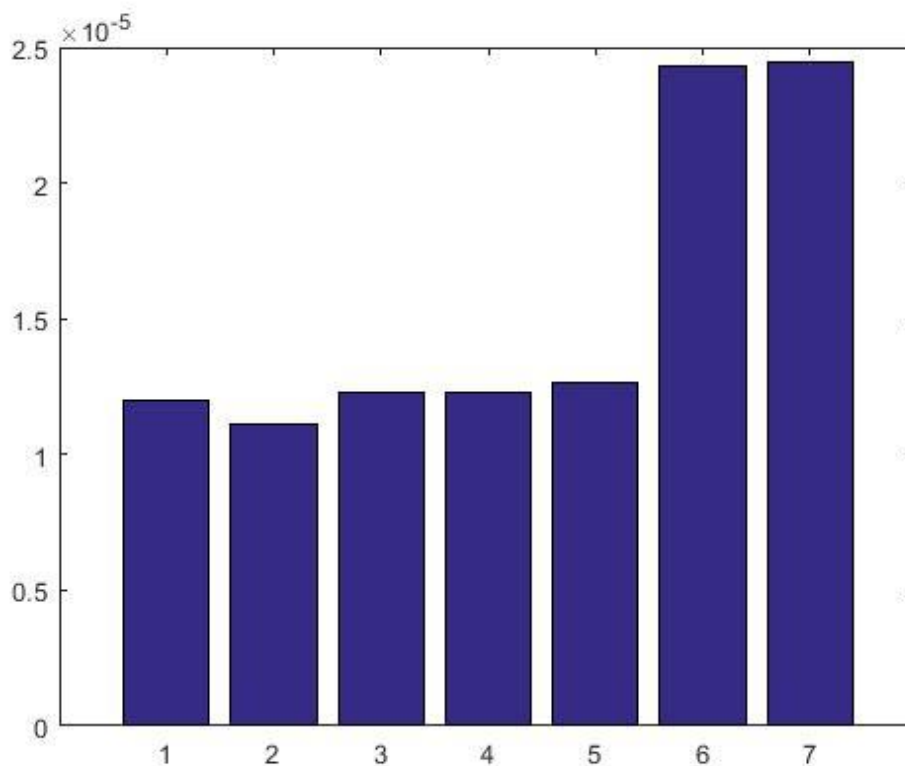
Στον παρακάτω πίνακα καταγράφονται τα αποτελέσματα του ηλεκτρικού πεδίου για την περιοχή του FM στις αίθουσες τηλεπικοινωνιών, εργαστήριων υπολογιστών και στον κεντρικό διάδρομο της σχολής και επίσης η μέση και η μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης (Πίνακας 4.9). Μελετάται ο λόγος έκθεσης μέσης και μέγιστης τιμής (Σχήμα 4.12) (Σχήμα 4.13). Μελετώνται παράλληλα, τα στατιστικά μεγέθη στην υπηρεσία FM-RADIO και γίνεται έκθεση της μέσης (Πίνακας 4.9.1) και μέγιστης (Πίνακας 4.9.2) τιμής. Τέλος, δείχνεται πόσες φορές ο λόγος έκθεσης είναι κάτω από τα επίπεδα αναφοράς (Πίνακας 4.9.3).

Πίνακας 4.9 FM-RADIO

Περιοχή Συχνοτήτων	Αυστηρότερο όριο έντασης ηλεκτρικού πεδίου (V/m)	Μέση τιμή έντασης Ηλεκτρικού πεδίου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (V/m)	Μέγιστη τιμή έντασης Ηλεκτρικού πεδίου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (V/m)	Μέση τιμή λόγου έκθεσης	Μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης
87,5 - 108 MHz	21,7 V/m - 60 %	19,84 mV/m	75,03 mV/m	$8,366 \cdot 10^{-7}$	$1,196 \cdot 10^{-5}$
87,5 - 108 MHz	21,7 V/m - 60 %	19,78 mV/m	72,43 mV/m	$8,316 \cdot 10^{-7}$	$1,115 \cdot 10^{-5}$
87,5 - 108 MHz	21,7 V/m - 60 %	19,92 mV/m	75,92 mV/m	$8,434 \cdot 10^{-7}$	$1,225 \cdot 10^{-5}$
87,5 - 108 MHz	21,7 V/m - 60 %	20,21 mV/m	76,01 mV/m	$8,681 \cdot 10^{-7}$	$1,228 \cdot 10^{-5}$
87,5 - 108 MHz	21,7 V/m - 60 %	20,01 mV/m	77,21 mV/m	$8,510 \cdot 10^{-7}$	$1,267 \cdot 10^{-5}$
87,5 - 108 MHz	21,7 V/m - 60 %	27,25 mV/m	106,9 mV/m	$1,578 \cdot 10^{-6}$	$2,429 \cdot 10^{-5}$
87,5 - 108 MHz	21,7 V/m - 60 %	25,92 mV/m	107,3 mV/m	$1,428 \cdot 10^{-6}$	$2,447 \cdot 10^{-5}$



Σχήμα 4.12 Μέση τιμή λόγου έκθεσης FM-RADIO



Σχήμα 4.13 Μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης FM-RADIO

Πίνακας 4.9.1 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέσης Τιμής

Δειγματική μέση τιμή λόγου έκθεσης:	$1,033 \cdot 10^{-6}$
Διασπορά μέση τιμή (Variance):	$1,047 \cdot 10^{-13}$
Τυπική απόκλιση μέση τιμή (Standard Deviation):	$3,237 \cdot 10^{-7}$
Τυπικό σφάλμα μέσης τιμής (Standard Error):	$1,223 \cdot 10^{-7}$
Διάμεσος μέσης τιμής:	$8,510 \cdot 10^{-7}$

Πίνακας 4.9.2 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέγιστης Τιμής

Δειγματική μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης:	$1,558 \cdot 10^{-5}$
Διασπορά μέγιστη τιμή (Variance):	$3,634 \cdot 10^{-11}$
Τυπική απόκλιση μέγιστη τιμή (Standard Deviation):	$6,028 \cdot 10^{-6}$
Τυπικό σφάλμα μέγιστης τιμής (Standard Error):	$2,278 \cdot 10^{-6}$
Διάμεσος μέγιστης τιμής:	$1,228 \cdot 10^{-5}$

Πίνακας 4.9.3 Φορές κάτω από το όριο

Φορές κάτω από το όριο μέσης τιμής λόγου έκθεσης (60 %)	Φορές κάτω από το όριο μέγιστης τιμής λόγου έκθεσης (60 %)
1.195.187,22 ($8,366 \cdot 10^{-5}$ %)	83.570,11 ($1,196 \cdot 10^{-3}$ %)
1.202.449,14 ($8,316 \cdot 10^{-5}$ %)	89.677,25 ($1,115 \cdot 10^{-3}$ %)
1.185.606,73 ($8,434 \cdot 10^{-5}$ %)	81.621,99 ($1,225 \cdot 10^{-3}$ %)
11.518,25 ($8,681 \cdot 10^{-5}$ %)	81.428,58 ($1,228 \cdot 10^{-3}$ %)
1.174.965,25 ($8,510 \cdot 10^{-5}$ %)	78.917,25 ($1,267 \cdot 10^{-3}$ %)
633.556,97 ($1,578 \cdot 10^{-4}$ %)	41.168,35 ($2,429 \cdot 10^{-3}$ %)
70.024,57 ($1,428 \cdot 10^{-4}$ %)	40.862,02 ($2,447 \cdot 10^{-3}$ %)

4.2.4 Yagi-Uda Antenna

Εν συνεχεία, στο εργαστήριο τηλεπικοινωνιών μελετήθηκε με σκοπό τον έλεγχο καλής λειτουργίας, κεραία Yagi-Uda, η οποία πρόκειται για μία μονοκατευθυντική κεραία (Εικόνα 4.3). Η κεραία Yagi-Uda είναι βασικά μια σειρά δίπολων με στοιχείο τροφοδοσίας και άλλα παρασιτικά στοιχεία. Όμως, μόνο το ένα δίπολο λειτουργεί, για αυτό και τα υπόλοιπα τα λέμε παρασιτικά στοιχεία, δεδομένου ότι δεν είναι ενεργά

Η Yagi-Uda είναι ευρέως γνωστή ως προς την χρησιμοποίηση ως κεραίας τηλεόρασης, αφού διακρίνεται για την υψηλή κατευθυντικότητα της. Για τη διαδικασία χρησιμοποιήθηκε ένα ομοαξονικό καλώδιο και γεννήτρια στα 1 GHz, όπου εκεί εκπέμπει η συγκεκριμένη κεραία.

Πιο συγκεκριμένα, στον παρακάτω πίνακα διαφαινόνται καλύτερα τα χαρακτηριστικά της [32].

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	Ενεργό στοιχείο	Ανακλαστήρες	Κατευθυντήρες
-----	Απλό ή αναδιπλωμένο ($l = \lambda/2$)	1 παθητικό δίπολο Ελάχιστα μεγαλύτερο το μήκος από του ενεργού	Παθητικά δίπολα Βρίσκονται μπροστά από το ενεργό και σε αριθμό από 1 - 10 Ελάχιστα μικρότερο το μήκος από του ενεργού

Ζώνες λειτουργίας:

HF (3 - 30 MHz),

VHF (30 - 300 MHz),

UHF (300 - 3000 MHz)

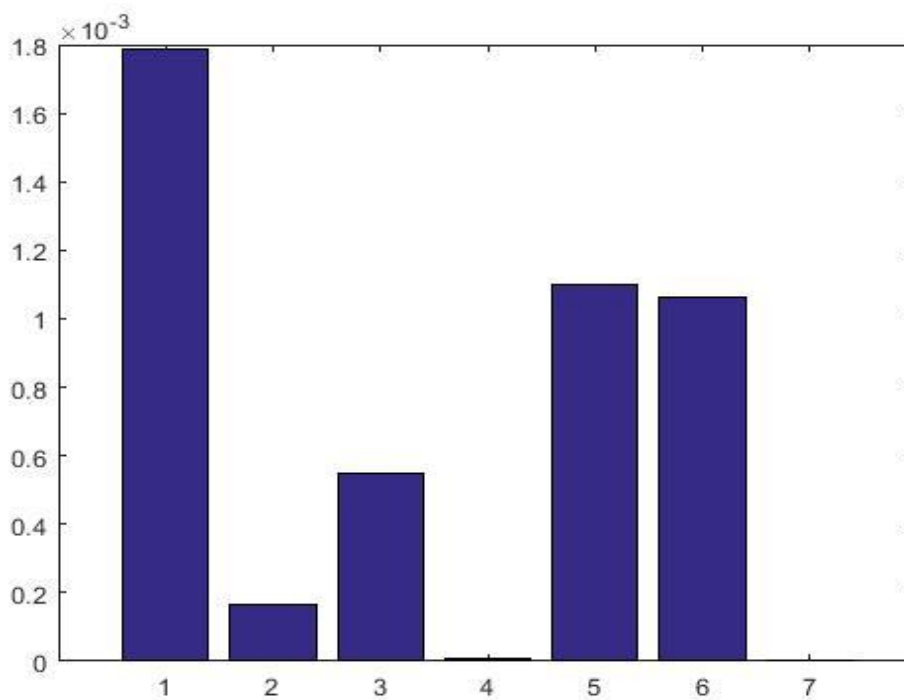
Η συγκεκριμένη γεννήτρια εκπέμπει στα 1 GHz, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ωστόσο όπως παρατηρούμε η συχνότητα εμφανίζεται περίπου λίγο παραπάνω από τα 900 MHz. Γίνεται έκθεση των τιμών της έντασης ηλεκτρικού πεδίου (Πίνακας 4.10), καθώς και των τιμών του λόγου έκθεσης (Σχήμα 4.14) (Σχήμα 4.15). Υπολογίζεται παράλληλα η μέση και η μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης και εν συνεχεία, με τα γραφήματα απεικονίζεται η τιμή του ηλεκτρικού πεδίου όσο η απόσταση αυξάνεται από την κεραία εκπομπής (Σχήμα 4.16) (Σχήμα 4.17) (Σχήμα 4.18) (Πίνακας 4.10.4). Γίνονται φανερά επιπλέον, τα στατιστικά μεγέθη μέσης (Πίνακας 4.10.1) (Πίνακας 4.10.2) και διαπιστώνεται πόσες φορές τα όρια είναι κάτω από τα προβλεπόμενα επίπεδα (Πίνακας 4.10.3).



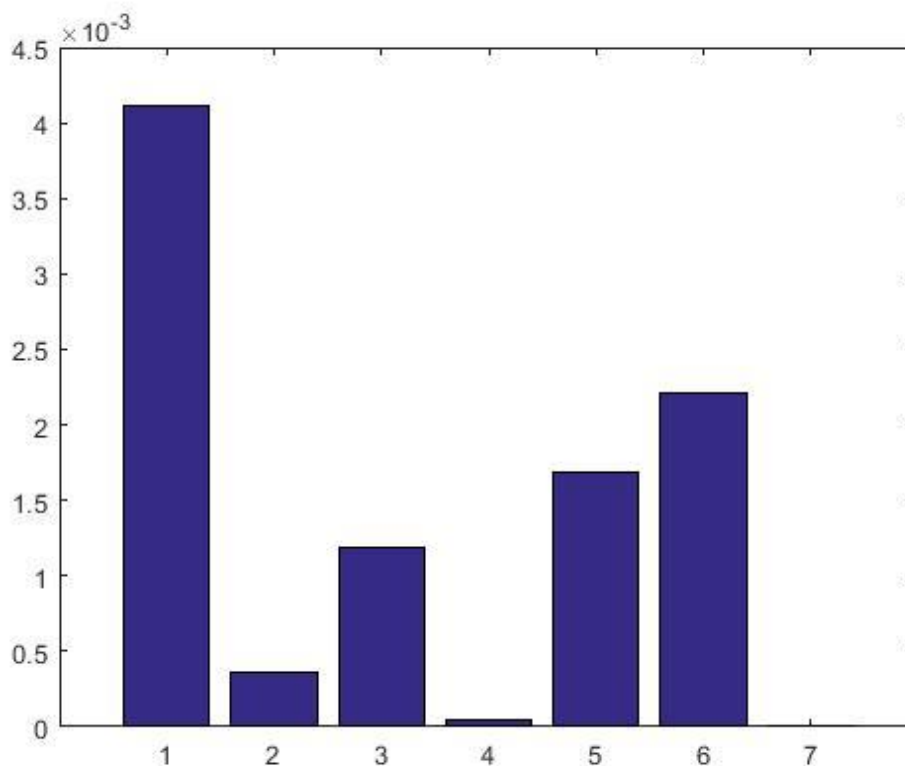
Εικόνα 4.3 Yagi Uda με γεννήτρια συχνοτήτων στα 1 GHz

Πίνακας 4.10 Yagi-Uda

Περιοχή Συχνοτήτων	Αυστηρότερο όριο έντασης ηλεκτρικού πεδίου (V/m)	Μέση τιμή έντασης Ηλεκτρικού πεδίου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (V/m)	Μέγιστη τιμή έντασης Ηλεκτρικού πεδίου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (V/m)	Μέση τιμή λόγου έκθεσης	Μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης
910 - 920 GHz	31,9 V/m - 60 %	1,333 V/m	2,023 mV/m	$1,787 \cdot 10^{-3}$	$4,117 \cdot 10^{-3}$
910 - 920 GHz	31,9 V/m - 60 %	408,2 mV/m	593,4 mV/m	$1,676 \cdot 10^{-4}$	$3,542 \cdot 10^{-4}$
910 - 920 GHz	31,9 V/m - 60 %	737,3 mV/m	1,084 mV/m	$5,468 \cdot 10^{-4}$	$1,182 \cdot 10^{-3}$
910 - 920 GHz	31,9 V/m - 60 %	92,75 mV/m	206,9 mV/m	$8,654 \cdot 10^{-6}$	$4,306 \cdot 10^{-5}$
910 - 920 GHz	31,9 V/m - 60 %	1,045 V/m	1,297 V/m	$1,098 \cdot 10^{-3}$	$1,692 \cdot 10^{-3}$
910 - 920 GHz	31,9 V/m - 60 %	1,027 V/m	1,484 V/m	$1,061 \cdot 10^{-3}$	$2,215 \cdot 10^{-3}$
910 - 920 GHz	31,9 V/m - 60 %	19,87 mV/m	38,5 mV/m	$3,972 \cdot 10^{-7}$	$1,491 \cdot 10^{-6}$



Σχήμα 4.14 Μέση τιμή λόγου έκθεσης Yagi-Uda



Σχήμα 4.15 Μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης Yagi-Uda

Πίνακας 4.10.1 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέσης τιμής

Δειγματική μέση τιμή λόγου έκθεσης:	$6,672 \cdot 10^{-4}$
Διασπορά μέση τιμή (Variance):	$4,564 \cdot 10^{-7}$
Τυπική απόκλιση μέση τιμή (Standard Deviation):	$6,756 \cdot 10^{-4}$
Τυπικό σφάλμα μέσης τιμής (Standard Error):	$2,553 \cdot 10^{-4}$
Διάμεσος μέσης τιμής:	$5,468 \cdot 10^{-4}$

Πίνακας 4.10.2 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέγιστης τιμής

Δειγματική μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης:	$1,372 \cdot 10^{-3}$
Διασπορά μέγιστη τιμή (Variance):	$2,177 \cdot 10^{-6}$
Τυπική απόκλιση μέγιστη τιμή (Standard Deviation):	$1,475 \cdot 10^{-3}$
Τυπικό σφάλμα μέγιστης τιμής (Standard Error):	$5,577 \cdot 10^{-4}$
Διάμεσος μέγιστης τιμής:	$1,182 \cdot 10^{-3}$

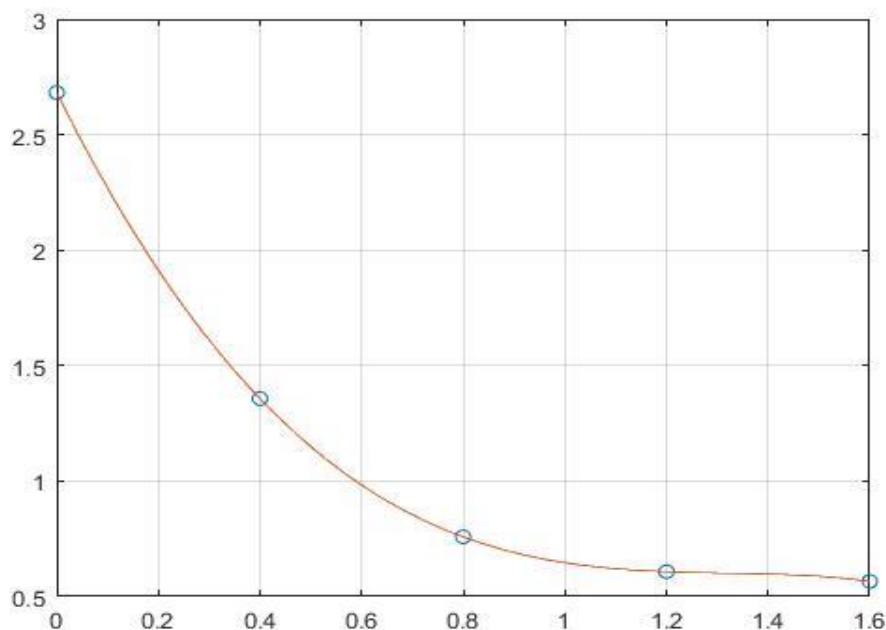
Πίνακας 4.10.3 Φορές κάτω από το όριο

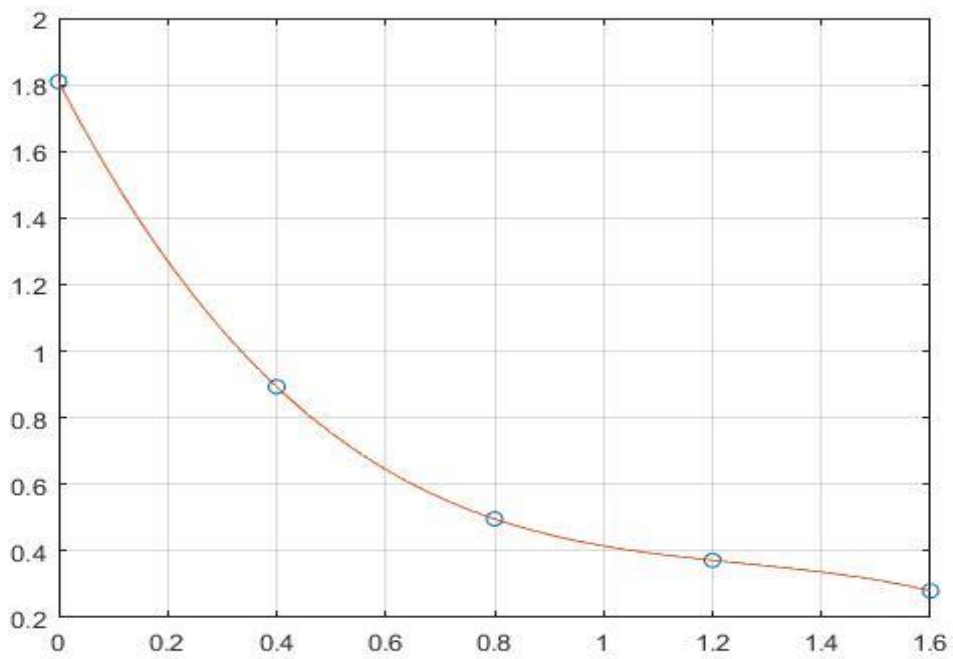
Φορές κάτω από το όριο μέσης τιμής λόγου έκθεσης (60 %)	Φορές κάτω από το όριο μέγιστης τιμής λόγου έκθεσης (60 %)
559,40 (0,178 %)	242,88 (0,411 %)
5.965,41 ($1,676 \cdot 10^{-2}$ %)	2.822,87 ($3,542 \cdot 10^{-2}$ %)
1.828,51 ($5,468 \cdot 10^{-2}$ %)	845,91 (0,118 %)
115.546,95 ($8,654 \cdot 10^{-4}$ %)	23.220,17 ($4,306 \cdot 10^{-3}$ %)
910,23 (0,109 %)	590,88 (0,169 %)
942,42 (0,106 %)	451,35 (0,221 %)
2.517.623,36 ($3,972 \cdot 10^{-5}$ %)	670.600,85 ($1,491 \cdot 10^{-4}$ %)

Μέτρηση Yagi-Uda: 11/03/2022

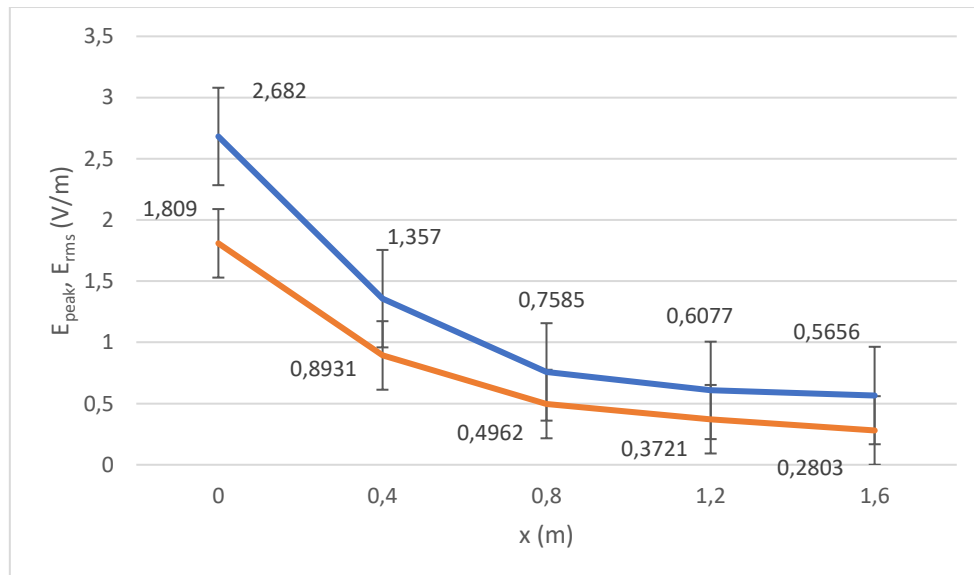
Πίνακας 4.10.4 Αποτελέσματα Απομάκρυνσης από πηγή εκπομπής

Ώρα καταγραφής μέτρησης	Απόσταση	E_{peak} (V/m)	E_{rms} (V/m)
11:48:00	0,0 μ.	2,682 V/m	1,809 V/m
11:53:00	0,4 μ.	1,357 V/m	0,893 V/m
11:59:00	0,8 μ.	0,758 V/m	0,496 V/m
12:02:00	1,2 μ.	0,607 V/m	0,372 V/m
12:38:00	1,6 μ.	0,565 V/m	0,280 V/m

Σχήμα 4.16 Γράφημα παρουσίασης εξέλιξης απομάκρυνσης από συσκευή E_{peak} (V/m) - x (m)



Σχήμα 4.17 Γράφημα παρουσίασης εξέλιξης απομάκρυνσης από συσκευή E_{rms} (V/m) - x (m)



Σχήμα 4.18 Αποτελέσματα στη ζώνη GSM 900

4.2.5 ΚΕΡΑΙΑ ΔΙΠΟΛΟΥ

Στον παρακάτω πίνακα ελέγχουμε τη λειτουργία διπολικής κεραίας στο εργαστήριο τηλεπικοινωνιών του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών (Εικόνα 4.4). Όπως και με τις Yagi-Uda, εκπέμπουν αντίστοιχα στα 1 GHz με μία μικρότερη απόκλιση, ωστόσο υπάρχουν διαφορές ως προς τα χαρακτηριστικά τους και ως προς την λειτουργία τους.

Η διπολική κεραία μισού μήκους κύματος (half wave dipole) αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες στην κατηγορία της. Αξιοποιείται στην επιστήμη των τηλεπικοινωνιών αλλά και στη ραδιοφωνία. Ανήκει στην κατηγορία γραμμικών κεραιών μικρής διαμέτρου ($d \ll L$) και τροφοδοτείται στη μέση με αποτέλεσμα η κατανομή του ρεύματος να είναι περίπου ημιτονοειδής με το μέγιστο στο κέντρο και τα ελάχιστα στα άκρα. Ουσιαστικά σχηματίζεται μία κεραία με 2 καλώδια σε 2 υποδοχές, με προσανατολισμό είτε κάθετα, είτε οριζόντια μεταξύ τους. Παραλλαγές του δίπολου διακρίνονται σε μορφές, όπως το j-dipole, το αναδιπλωμένο δίπολο κ.α. Θα μελετηθούν τα δεδομένα που αντλούνται από το δίπολο μήκους $l = \lambda/2$ [32].

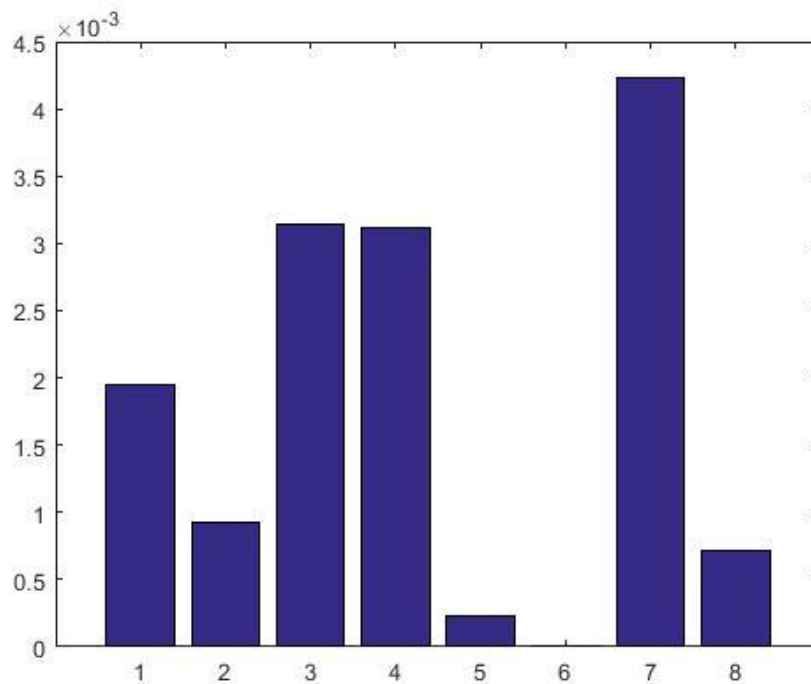
Παρακάτω, (Πίνακας 4.11) παρουσιάζονται οι μετρήσεις μαζί με τον υπολογισμό του λόγου έκθεσης (Σχήμα 4.19) (Σχήμα 4.20), καθώς και οι τιμές του ηλεκτρικού πεδίου, όσο απομακρύνεται ο φασματικός αναλυτής από την κεραία δίπολου (Πίνακας 4.11.4) με τα αντίστοιχα γραφήματα, αναφορικά με την εξέλιξη των τιμών (Σχήμα 4.21) (Σχήμα 4.22) (Σχήμα 4.23). Γίνεται αναφορά στα στατιστικά μεγέθη μέσης (Πίνακας 4.11.1) και μέγιστης (Πίνακας 4.11.2) τιμής όπως και στις προηγούμενες μετρήσεις και δείχνεται ακόμα πόσες φορές ο λόγος έκθεσης είναι κάτω από τα επίπεδα αναφοράς (Πίνακας 4.11.3).



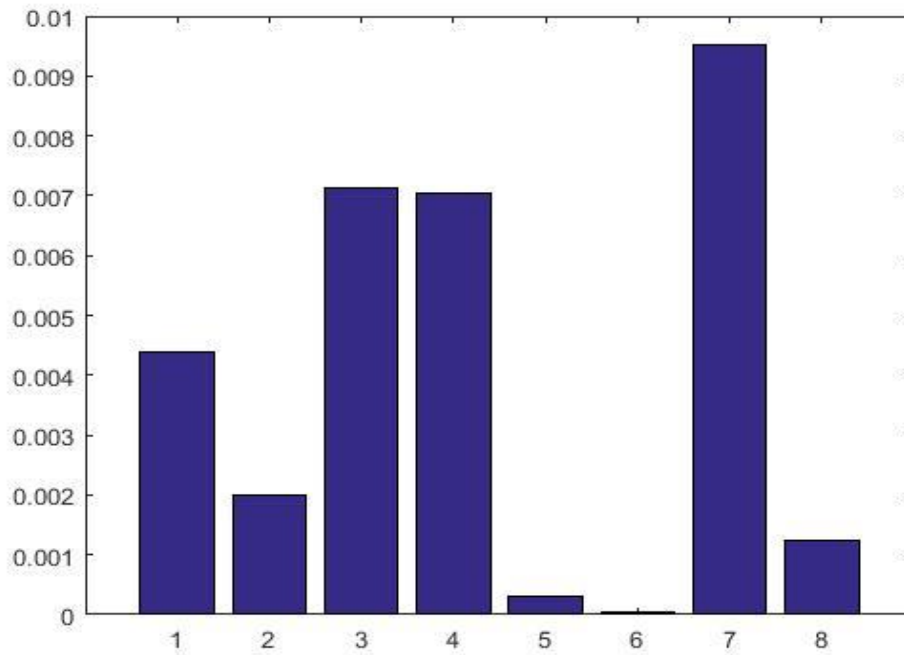
Εικόνα 4.4 Κεραία Διπόλου με γεννήτρια συχνοτήτων στα 1 GHz

Πίνακας 4.11 Κεραία διπόλου

Περιοχή Συχνοτήτων	Αυστηρότερο όριο έντασης ηλεκτρικού πεδίου (V/m)	Μέση τιμή έντασης Ηλεκτρικού πεδίου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (V/m)	Μέγιστη τιμή έντασης Ηλεκτρικού πεδίου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (V/m)	Μέση τιμή λόγου έκθεσης	Μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης
912 - 920 MHz	31,9 V/m - 60 %	1,390 V/m	2,091 V/m	$1,943 \cdot 10^{-3}$	$4,398 \cdot 10^{-3}$
910 - 920 MHz	31,9 V/m - 60 %	956,1 mV/m	1,410 V/m	$9,196 \cdot 10^{-4}$	$2,000 \cdot 10^{-3}$
910 - 920 MHz	31,9 V/m - 60 %	1,767 V/m	2,663 V/m	$3,141 \cdot 10^{-3}$	$7,134 \cdot 10^{-3}$
910 - 920 MHz	31,9 V/m - 60 %	1,759 V/m	2,643 V/m	$3,112 \cdot 10^{-3}$	$7,027 \cdot 10^{-3}$
900 - 920 MHz	31,9 V/m - 60 %	476,7 mV/m	550,8 mV/m	$2,286 \cdot 10^{-4}$	$3,052 \cdot 10^{-4}$
900 - 920 MHz	31,9 V/m - 60 %	106,9 mV/m	205,9 mV/m	$1,149 \cdot 10^{-5}$	$4,265 \cdot 10^{-5}$
900 - 924 MHz	31,9 V/m - 60 %	2,052 V/m	3,074 V/m	$4,2361 \cdot 10^{-3}$	$9,506 \cdot 10^{-3}$
900 - 930 MHz	31,9 V/m - 60 %	840,2 mV/m	1,104 V/m	$7,101 \cdot 10^{-4}$	$1,226 \cdot 10^{-3}$



Σχήμα 4.19 Μέση τιμή λόγου έκθεσης Dipole Antenna



Σχήμα 4.20 Μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης Dipole Antenna

Πίνακας 4.11.1 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέσης τιμής

Δειγματική μέση τιμή λόγου έκθεσης:	$1,787 \cdot 10^{-3}$
Διασπορά μέση τιμή (Variance):	$2,443 \cdot 10^{-6}$
Τυπική απόκλιση μέση τιμή (Standard Deviation):	$1,563 \cdot 10^{-3}$
Τυπικό σφάλμα μέσης τιμής (Standard Error):	$5,527 \cdot 10^{-4}$
Διάμεσος μέσης τιμής:	$1,431 \cdot 10^{-3}$

Πίνακας 4.11.2 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέγιστης Τιμής

Δειγματική μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης:	$3,955 \cdot 10^{-3}$
Διασπορά μέγιστη τιμή (Variance):	$1,292 \cdot 10^{-5}$
Τυπική μέγιστη μέση τιμή (Standard Deviation):	$3,594 \cdot 10^{-3}$
Τυπικό σφάλμα μέσης μέγιστης (Standard Error):	$1,270 \cdot 10^{-3}$
Διάμεσος μέγιστης τιμής:	$3,199 \cdot 10^{-3}$

Πίνακας 4.11.3 Φορές κάτω από το όριο

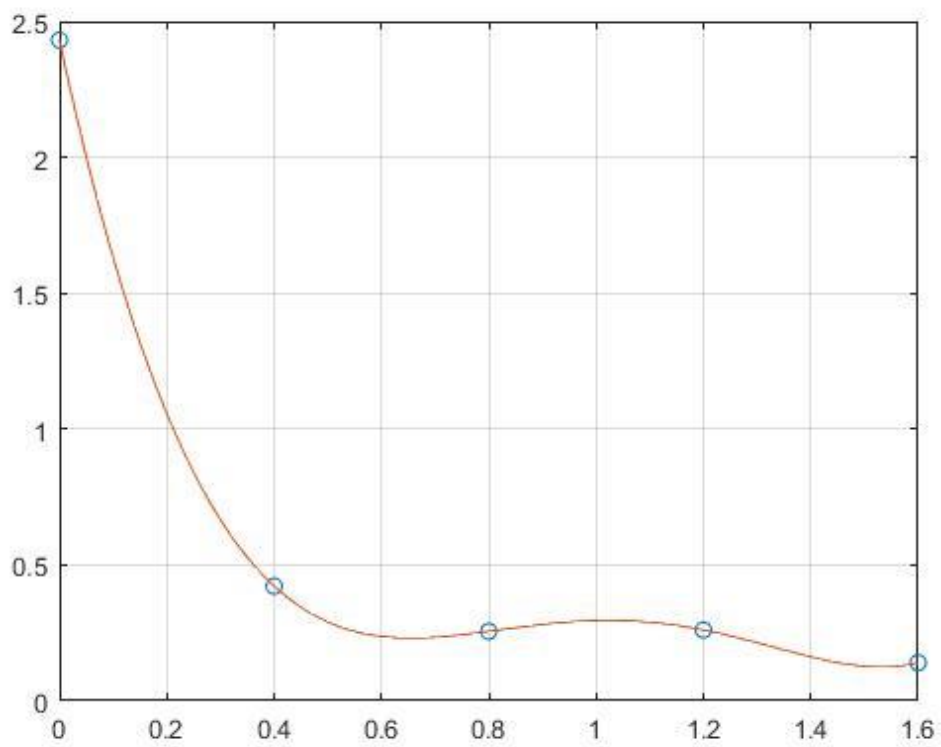
Φορές κάτω από το όριο μέσης τιμής λόγου έκθεσης (60 %)	Φορές κάτω από το όριο μέγιστης τιμής λόγου έκθεσης (60 %)
514,46 (0,194 %)	227,34 (0,439 %)
1.087,37 (9,196·10 ⁻² %)	499,97 (0,200 %)
318,35 (0,314 %)	140,16 (0,713 %)
321,25 (0,311 %)	142,29 (0,702 %)
4.374,16 (2,286·10 ⁻² %)	3.276,41 (3,052·10 ⁻² %)
86.982,23 (1,149·10 ⁻³ %)	23.446,27 (4,265·10 ⁻³ %)
236,06 (0,423 %)	105,19 (0,950 %)
1.408,06 (7,101·10 ⁻² %)	815,54 (0,122 %)

Μέτρηση κεραίας Διπόλου: 11/03/2022

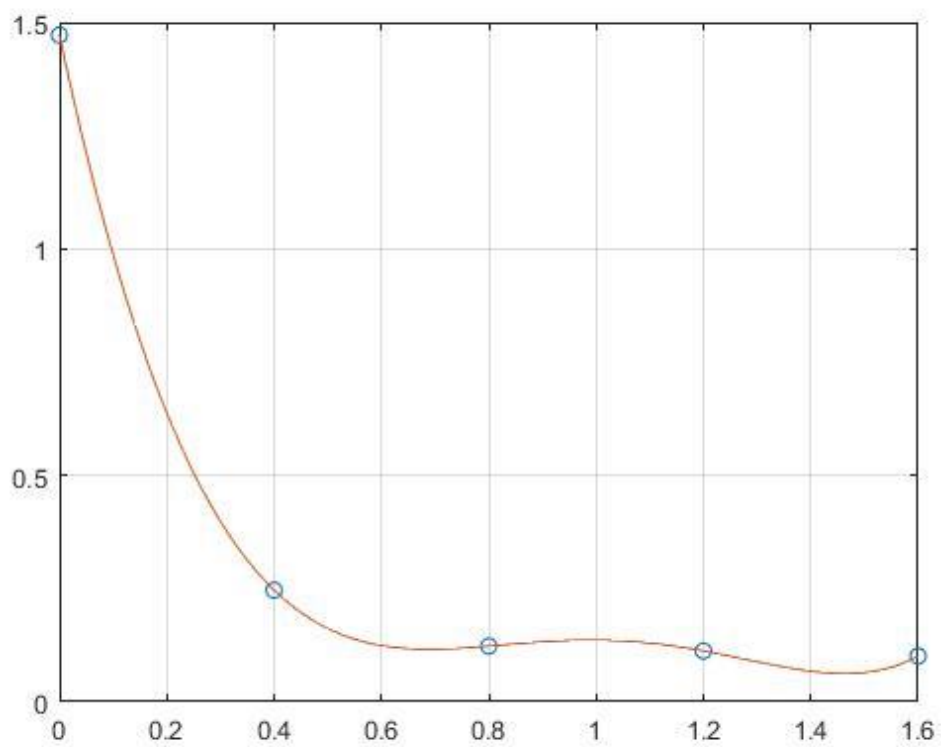
(Με κατεύθυνση της ισοτροπικής κεραίας του SRM 3006, κάθετα στο δίπολο)

Πίνακας 4.11.4 Αποτελέσματα Απομάκρυνσης από πηγή εκπομπής

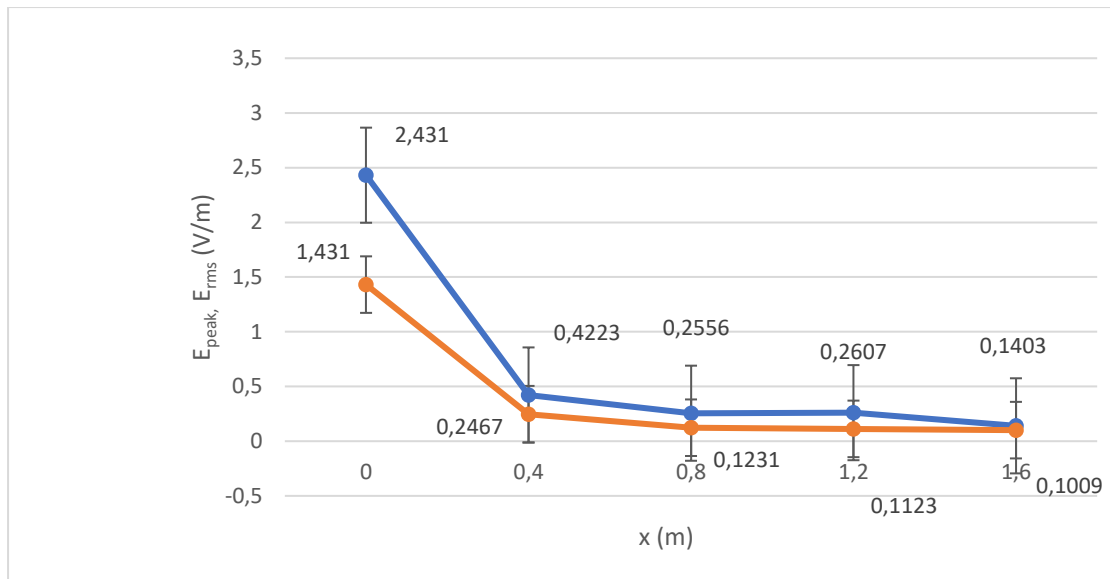
Ώρα καταγραφής μέτρησης	Απόσταση	E _{peak} (V/m)	E _{rms} (V/m)
12:31:00	0,0 μ.	2,431 V/m	1,472 V/m
12:34:00	0,4 μ.	0,422 V/m	0,246 V/m
13:12:00	0,8 μ.	0,255 V/m	0,123 V/m
13:18:00	1,2 μ.	0,260 V/m	0,112 V/m
13:25:00	1,6 μ.	0,140 V/m	0,100 V/m



Σχήμα 4.21 Γράφημα παρουσίασης εξέλιξης απομάκρυνσης από συσκευή E_{peak} (V/m) - x (m)



Σχήμα 4.22 Γράφημα παρουσίασης εξέλιξης απομάκρυνσης από συσκευή E_{rms} (V/m) - x (m)



Σχήμα 4.23 Αποτελέσματα Κεραίας διπόλου συναρτήσει της απόστασης

4.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ

Στη συγκεκριμένη ενότητα παρουσιάζονται αρχικά μετρήσεις της υπηρεσία W-LAN, με σταθερές παραμέτρους για την ακρίβεια των δεδομένων (Πίνακας 4.12) στο εργαστήριο τηλεπικοινωνιών. Γίνεται αναφορά μέσω του πίνακα στους λόγους έκθεσης μέσης και μέγιστης τιμής και πραγματοποιείται σύγκριση των στατιστικών μεγεθών μέσης και μέγιστης τιμής (Πίνακας 4.12.1) (Πίνακας 4.12.2). Στη συνέχεια μέσω των διαγραμμάτων μπάρας συγκρίνονται τα στατιστικά μεγέθη που υπολογίστηκαν (Σχήμα 4.24), ώστε να υπάρχει εικόνα στα τελικά αποτελέσματα στην υπηρεσία W-LAN, αναφορικά με τους λόγους έκθεσης μέσης και μέγιστης τιμής που υπολογίστηκαν. Επίσης, υπολογίζονται πόσες φορές κάτω από τα επίπεδα αναφοράς βρίσκονται τα τελικά αποτελέσματα. Παρακάτω καταγράφονται οι ώρες που διεξήχθησαν οι μετρήσεις στο εργαστήριο τηλεπικοινωνιών και όπως φαίνεται το χρονικό μοτίβο που επαναλαμβάνονται οι μετρήσεις είναι παρόμοιο.

Ώρες καταγραφής:

- 1^η μέτρηση: 9:51 π.μ.
- 2^η μέτρηση: 9:57 π.μ.
- 3^η μέτρηση: 10:08 π.μ.
- 4^η μέτρηση: 10:11 π.μ.
- 5^η μέτρηση: 10:21 π.μ.
- 6^η μέτρηση: 10:26 π.μ.
- 7^η μέτρηση: 10:30 π.μ.
- 8^η μέτρηση: 10:36 π.μ.
- 9^η μέτρηση: 10:41 π.μ.
- 10^η μέτρηση: 10:44 π.μ.

Πίνακας 4.12 W-LAN Υπολογισμός Στατιστικών Μεγεθών

Περιοχή Συχνοτήτων	Μέση τιμή έντασης Ηλεκτρικού πεδίου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (V/m)	Μέγιστη τιμή έντασης Ηλεκτρικού πεδίου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (V/m)	Μέση τιμή λόγου έκθεσης	Μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης
2,4 - 2,484 GHz	22,00 mV/m	236,1 mV/m	$2,172 \cdot 10^{-7}$	$2,502 \cdot 10^{-5}$
2,4 - 2,484 GHz	16,56 mV/m	185,4 mV/m	$1,230 \cdot 10^{-7}$	$1,542 \cdot 10^{-6}$
2,4 - 2,484 GHz	18,03 mV/m	166,03 mV/m	$1,459 \cdot 10^{-7}$	$1,237 \cdot 10^{-6}$
2,4 - 2,484 GHz	14,42 mV/m	151,4 mV/m	$9,333 \cdot 10^{-7}$	$1,028 \cdot 10^{-6}$
2,4 - 2,484 GHz	45,41 mV/m	502,1 mV/m	$9,255 \cdot 10^{-6}$	$1,131 \cdot 10^{-4}$
2,4 - 2,484 GHz	21,02 mV/m	272,0 mV/m	$1,983 \cdot 10^{-6}$	$3,320 \cdot 10^{-6}$
2,4 - 2,484 GHz	17,57 mV/m	229,2 mV/m	$1,385 \cdot 10^{-6}$	$2,358 \cdot 10^{-6}$
2,4 - 2,484 GHz	24,56 mV/m	343,4 mV/m	$2,707 \cdot 10^{-6}$	$5,293 \cdot 10^{-6}$
2,4 - 2,484 GHz	19,95 mV/m	259,9 mV/m	$1,717 \cdot 10^{-6}$	$3,032 \cdot 10^{-6}$
2,4 - 2,484 GHz	53,15 mV/m	717,6 mV/m	$1,268 \cdot 10^{-5}$	$2,311 \cdot 10^{-4}$

Πίνακας 4.12.1 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέσης τιμής

Δειγματική μέση τιμή λόγου έκθεσης:	$3,114 \cdot 10^{-6}$
Διασπορά μέση τιμή (Variance):	$1,850 \cdot 10^{-11}$
Τυπική απόκλιση μέση τιμή (Standard Deviation):	$4,301 \cdot 10^{-6}$
Τυπικό σφάλμα μέσης τιμής (Standard Error):	$1,360 \cdot 10^{-6}$
Διάμεσος μέσης τιμής:	$1,551 \cdot 10^{-6}$

Πίνακας 4.12.2 Στατιστικά Αποτελέσματα Μέγιστης τιμής

Δειγματική μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης:	$3,871 \cdot 10^{-5}$
Διασπορά μέγιστη τιμή (Variance):	$5,769 \cdot 10^{-9}$
Τυπική μέγιστη μέση τιμή (Standard Deviation):	$7,596 \cdot 10^{-5}$
Τυπικό σφάλμα μέσης μέγιστης (Standard Error):	$2,402 \cdot 10^{-5}$
Διάμεσος μέγιστης τιμής:	$3,176 \cdot 10^{-5}$



Σχήμα 4.24 Σύγκριση Στατιστικών Μεγεθών Μέσης και Μέγιστης τιμής

Πίνακας 4.12.3 Φορές κάτω από το όριο

Φορές κάτω από το όριο μέσης τιμής λόγου έκθεσης (60 %)	Φορές κάτω από το όριο μέγιστης τιμής λόγου έκθεσης (60 %)
4.602.970,75 ($2,172 \cdot 10^{-5}$ %)	39.966,10 ($2,502 \cdot 10^{-3}$ %)
8.123.872,81 ($1,230 \cdot 10^{-5}$ %)	648.134,34 ($1,542 \cdot 10^{-4}$ %)
6.853.164,10 ($1,459 \cdot 10^{-5}$ %)	808.185,30 ($1,237 \cdot 10^{-4}$ %)
1.071.404,84 ($9,333 \cdot 10^{-5}$ %)	971.921,19 ($1,028 \cdot 10^{-4}$ %)
108.039,07 ($9,255 \cdot 10^{-4}$ %)	8.836,96 ($1,131 \cdot 10^{-2}$ %)
504.217,78 ($1,983 \cdot 10^{-4}$ %)	301.125,00 ($3,320 \cdot 10^{-4}$ %)
721.672,54 ($1,385 \cdot 10^{-4}$ %)	424.086,41 ($2,358 \cdot 10^{-4}$ %)
369.340,32 ($2,707 \cdot 10^{-4}$ %)	188.922,34 ($5,293 \cdot 10^{-4}$ %)
582.299,26 ($1,717 \cdot 10^{-4}$ %)	329.815,30 ($3,032 \cdot 10^{-4}$ %)
78.863,73 ($1,268 \cdot 10^{-3}$ %)	4.326,32 ($2,311 \cdot 10^{-2}$ %)

4.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΛΟΓΟΥ ΕΚΘΕΣΗΣ

Πείραμα σε 9 φασματικές ζώνες από τα 87,5 MHz έως τα 2,484 GHz

Φουαγιέ Τμήματος ΗΜΜΥ

Στην παρακάτω μέτρηση πραγματοποιείται ο υπολογισμός των φασματικών ζωνών από τα 87,5 MHz έως τα 2,484 GHz (Πίνακας 4.13). Με αυτή τη διαδικασία είναι εφικτό να υπολογιστεί ο Συνολικός Λόγος Έκθεσης σύμφωνα με τις τιμές του ηλεκτρικού πεδίου, που υπολογίστηκαν από το φασματικό αναλυτή. Επομένως, μέσω του Συνολικού Λόγου Έκθεσης γίνονται οι μετρήσεις που αφορούν περισσότερες από μία ζώνη συχνοτήτων, ώστε εν τέλει να εκτιμηθούν πόσες φορές πάνω ή κάτω βρίσκονται από τα επίπεδα αναφοράς. Η πρώτη διενέργεια του πειράματος διεξάγεται με την παρουσία φοιτητών. Αντίστοιχα, πραγματοποιείται μέτρηση στις ίδιες ζώνες συχνοτήτων (Πίνακας 4.14) στην αίθουσα της ΙΕΕΕ παρουσία μελών της.

Πίνακας 4.13 Μέτρηση στις 9 υπηρεσίες - Παρουσία Φοιτητών

Εύρος Ζώνης Συχνότητων (MHz)	Παρατηρήσεις	Μέση τιμή έντασης Ηλεκτρικού πεδίου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (V/m)	Μέγιστη τιμή έντασης Ηλεκτρικού πεδίου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (V/m)	Μέση τιμή λόγου έκθεσης	Μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης
88 – 108	Ραδιοφωνικές εκπομπές στη φασματική περιοχή των FM	16,09 mV/m	64,51 mV/m	$5,502 \cdot 10^{-7}$	$8,845 \cdot 10^{-6}$
175 – 369	Τηλεοπτικές εκπομπές στη φασματική περιοχή VHF	11,02 mV/m	44,20 mV/m	$2,581 \cdot 10^{-7}$	$4,152 \cdot 10^{-6}$
470 – 790	Τηλεοπτικές εκπομπές στη φασματική περιοχή UHF	5,859 mV/m	25,33 mV/m	$6,438 \cdot 10^{-8}$	$1,203 \cdot 10^{-6}$
791 – 862	Ψηφιακό Μέρισμα για Κινητή Τηλεφωνία (TV White Spaces)	17,79 mV/m	89,88 mV/m	$3,528 \cdot 10^{-7}$	$9,006 \cdot 10^{-6}$
876 – 960	Εκπομπές σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας στο σύστημα GSM 900	15,65 mV/m	79,45 mV/m	$2,465 \cdot 10^{-7}$	$6,353 \cdot 10^{-6}$
1437 – 1515	Ευρυεκπομπές (DAB)	4,325 mV/m	17,90 mV/m	$1,147 \cdot 10^{-8}$	$1,966 \cdot 10^{-7}$
1710 – 1880	Εκπομπές κινητής τηλεφωνίας στο σύστημα DCS 1800	6,169 mV/m	24,82 mV/m	$1,962 \cdot 10^{-8}$	$3,176 \cdot 10^{-7}$
1920 – 2170	Εκπομπές κινητής τηλεφωνίας στο σύστημα UMTS	6,635 mV/m	26,73 mV/m	$1,851 \cdot 10^{-8}$	$3,280 \cdot 10^{-7}$
2400 – 2484	W-LAN	37,42 mV/m	2,339 V/m	$6,285 \cdot 10^{-7}$	$2,455 \cdot 10^{-3}$
Συνολικός λόγος έκθεσης Μέσης & Μέγιστης τιμής				$2,150 \cdot 10^{-6}$	$2,49 \cdot 10^{-3}$

Πίνακας 4.14 Μέτρηση στις 9 Υπηρεσίες - Αίθουσα ΙΕΕΕ

Εύρος Ζώνης Συχνότητων (MHz)	Παρατηρήσεις	Μέση τιμή έντασης Ηλεκτρικού πεδίου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (V/m)	Μέγιστη τιμή έντασης Ηλεκτρικού πεδίου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (V/m)	Μέση τιμή λόγου έκθεσης	Μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης
88 – 108	Ραδιοφωνικές εκπομπές στη φασματική περιοχή των FM	15,96 mV/m	61,73 mV/m	$5,414 \cdot 10^{-7}$	$8,099 \cdot 10^{-6}$
175 – 369	Τηλεοπτικές εκπομπές στη φασματική περιοχή VHF	9,120 mV/m	39,71 mV/m	$1,767 \cdot 10^{-7}$	$3,351 \cdot 10^{-6}$
470 – 790	Τηλεοπτικές εκπομπές στη φασματική περιοχή UHF	5,866 mV/m	23,34 mV/m	$6,454 \cdot 10^{-8}$	$1,021 \cdot 10^{-6}$
791 – 862	Ψηφιακό Μέρισμα για Κινητή Τηλεφωνία (TV White Spaces)	17,08 mV/m	87,48 mV/m	$3,252 \cdot 10^{-7}$	$8,531 \cdot 10^{-6}$
876 – 960	Εκπομπές σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας στο σύστημα GSM 900	7,370 mV/m	28,48 mV/m	$5,467 \cdot 10^{-8}$	$8,164 \cdot 10^{-7}$
1437 – 1515	Ευρυεκπομπές (DAB)	4,343 mV/m	17,32 mV/m	$7,218 \cdot 10^{-9}$	$1,840 \cdot 10^{-7}$
1710 – 1880	Εκπομπές κινητής τηλεφωνίας στο σύστημα DCS 1800	6,255 mV/m	25,53 mV/m	$2,017 \cdot 10^{-8}$	$3,360 \cdot 10^{-7}$
1920 – 2170	Εκπομπές κινητής τηλεφωνίας στο σύστημα UMTS	6,641 mV/m	26,92 mV/m	$2,024 \cdot 10^{-8}$	$3,327 \cdot 10^{-7}$
2400 – 2484	W-LAN	49,88 mV/m	2,247 V/m	$1,116 \cdot 10^{-6}$	$2,266 \cdot 10^{-3}$
Συνολικός λόγος έκθεσης Μέσης & Μέγιστης τιμής				$2,33 \cdot 10^{-6}$	$2,29 \cdot 10^{-3}$

4.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΙΣΧΥΟΣ

Παρακάτω, διενεργούνται μετρήσεις στις φασματικές ζώνες W-LAN (Πίνακας 4.15) και GSM 1800 (Πίνακας 4.16) με το μέγεθος πυκνότητας Ισχύος $\frac{W}{m^2}$. Υπολογίζεται ο λόγος έκθεσης με τον αντίστοιχο βηματισμό για τη πυκνότητα ισχύος και η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου.

$$\text{Λόγος έκθεσης} = \frac{S}{L_s}$$

Για να προσδιοριστεί η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (Πίνακας 4.15.1) και (Πίνακας 4.16.1) χρειάζεται να είναι γνωστή σύνθετη χαρακτηριστική αντίσταση στο πεδίο. Το κύμα διαδίδεται στον κενό, άρα η σύνθετη χαρακτηριστική αντίσταση είναι $\eta_0 = 376,7 \Omega$ [13].

Η ζητούμενη σχέση δίνεται ως: $E = \sqrt{S \cdot 376,7}$.

Πίνακας 4.15 W-LAN - Πυκνότητα Ισχύος

Εύρος ζώνης Συχνοτήτων	Μέση τιμή πυκνότητας ισχύος (W/m^2)	Μέγιστη τιμή πυκνότητας ισχύος (W/m^2)	Μέση τιμή λόγου έκθεσης	Μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης
W-LAN 60 % - 6,0 (W/m^2)	31,61 $\mu W/m^2$	10,61 mW/m^2	$5,268 \cdot 10^{-6}$	$1,768 \cdot 10^{-3}$
WLAN 60 % - 6,0 (W/m^2)	44,00 $\mu W/m^2$	58,14 mW/m^2	$7,333 \cdot 10^{-6}$	$9,69 \cdot 10^{-3}$
W-LAN 60 % - 6,0 (W/m^2)	31,61 $\mu W/m^2$	10,61 mW/m^2	$5,268 \cdot 10^{-6}$	$1,768 \cdot 10^{-3}$
W-LAN 60 % - 6,0 (W/m^2)	19,60 $\mu W/m^2$	55,59 mW/m^2	$3,266 \cdot 10^{-6}$	$9,265 \cdot 10^{-3}$

Πίνακας 4.15.1 Αποτελέσματα Έντασης Ηλεκτρικού Πεδίου

Μέση τιμή έντασης ηλεκτρικού πεδίου (V/m)	Μέγιστη τιμή έντασης ηλεκτρικού πεδίου (V/m)
0,109 V/m	1,999 V/m
0,128 V/m	4,679 V/m
0,109 V/m	1,999 V/m
0,085 V/m	4,559 V/m

Πίνακας 4.16 GSM 1800 - Πυκνότητα Ισχύος

Εύρος ζώνης Συχνοτήτων	Μέση τιμή πυκνότητας ισχύος (W/m ²)	Μέγιστη τιμή πυκνότητας ισχύος (W/m ²)	Μέση τιμή λόγου έκθεσης	Μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης
GSM 1800 60 % - 5,4 (W/m ²)	108,7 nW/m ²	1,809 μW/m ²	2,131·10 ⁻⁸	3,547 ·10 ⁻⁶
GSM 1800 60 % - 5,4 (W/m ²)	105,2 nW/m ²	1,689 μW/m ²	2,062·10 ⁻⁸	3,311·10 ⁻⁶
GSM 1800 60 % - 5,4 (W/m ²)	105,4 nW/m ²	3,611 μW/m ²	2,066·10 ⁻⁸	7,080·10 ⁻⁶
GSM 1800 60 % - 5,4 (W/m ²)	196,0 nW/m ²	55,59 μW/m ²	3,843·10 ⁻⁸	1,09·10 ⁻⁵

Πίνακας 4.16.1 Αποτελέσματα Έντασης Ηλεκτρικού Πεδίου

Μέση τιμή έντασης ηλεκτρικού πεδίου (V/m)	Μέγιστη τιμή έντασης ηλεκτρικού πεδίου (V/m)
0,006 V/m	2,610·10 ⁻² V/m
0,006 V/m	2,522·10 ⁻² V/m
0,006 V/m	3,688·10 ⁻² V/m
0,008 V/m	0,144 V/m

Από $L \cdot E = \frac{E^2}{L^2}$, επαληθεύεται η αντίστοιχη διαδικασία για τον έλεγχο τήρησης των ορίων.

4.6 ΒΕΛΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Στο επόμενο στάδιο, θα γίνουν 14 υπολογισμοί μέσω του φασματικού αναλυτή στη ζώνη W-LAN.

Οι παράμετροι «Resolution Bandwidth» (RBW) και «Measurement Range» (MR) κατά κανόνα παρέχονται από τον κατασκευαστή ανάλογα με το εύρος της μέτρησης και την υπηρεσία, έτσι ώστε να ακολουθείται η κατάλληλη μεθοδολογία.

Σε αυτό το πείραμα, θα παρουσιαστεί η διαφορά στις μετρήσεις ανάλογα με τις τιμές που ορίζονται στο RBW και στο MR σε μία σταδιακή αύξηση και των δύο (Πίνακας 4.17). Εντούτοις, παρουσιάζεται η εξέλιξη της συνάρτησης E (V/m) / f (Hz), αλλά και αν υπάρχει διαφοροποίηση στα αποτελέσματα όσο αυξάνονται οι 2 μεταβλητές.

Αναφορικά με τις προτεινόμενες τιμές του κατασκευαστή, το «Resolution Bandwidth» στην περιοχή του W-LAN είναι 100 kHz, ενώ του MR είναι 1,6 V/m.

Με τη συγκεκριμένη μέθοδο σκοπός είναι να καταγραφεί το πώς κυμαίνεται η συνάρτηση και τι εξέλιξη παρατηρείται στην περιοχή της υπηρεσίας W-LAN με την επιλογή βασικών παραμέτρων «Resolution Bandwidth» και «Measurement Range» και ποιος είναι ο καθοριστικός παράγοντας τους στη διακύμανση των τιμών (Σχήμα 4.25).

Ημερομηνία: 11/05/2022

Εργαστήριο Τηλεπικοινωνιών

2 φορητές συσκευές σε λειτουργία στην υπηρεσία W-LAN

Πίνακας 4.17 W-LAN - Εναλλαγές RBW - MR (1)

Ώρα καταγραφής μέτρησης	Αριθμός Μετρήσεων	RBW (Hz)	MR (V/m)	E_{peak} (V/m)	E_{rms} (V/m)
12:57	1 ⁿ	100 kHz	1,6 V/m	0,607 V/m	0,027 V/m
13:06	2 ⁿ	200 kHz	1,8 V/m	0,580 V/m	0,020 V/m
13:08	3 ⁿ	300 kHz	2 V/m	0,596 V/m	0,019 V/m
13:12	4 ⁿ	500 kHz	2,5 V/m	0,679 V/m	0,198 V/m
13:18	5 ⁿ	1 MHz	2,8 V/m	0,590 V/m	0,022 V/m
13:21	6 ⁿ	2 MHz	3 V/m	0,960 V/m	0,067 V/m
13:29	7 ⁿ	3 MHz	5 V/m	1,179 V/m	0,079 V/m



Σχήμα 4.25 Σύγκριση αποτελεσμάτων με την αύξηση του RBW και του MR

Με τη συγκεκριμένη μέθοδο σκοπός είναι να καταγραφεί πώς κυμαίνεται η συνάρτηση και τι εξέλιξη παρατηρείται στην περιοχή του ασύρματου δικτύου W-LAN με χαμηλό «Resolution Bandwidth» και υψηλό «Measurement Range» και αντίθετα για πολύ υψηλό «Resolution Bandwidth» και χαμηλό «Measurement Range» (Σχήμα 4.26).

Όσο προχωράει η διαδικασία των μετρήσεων, το RBW και το MR θα καταλήξουν στην προβλεπόμενη τιμή τους, όπως αναφέρεται από τους κατασκευαστές του αναλυτή (Πίνακας 4.18).

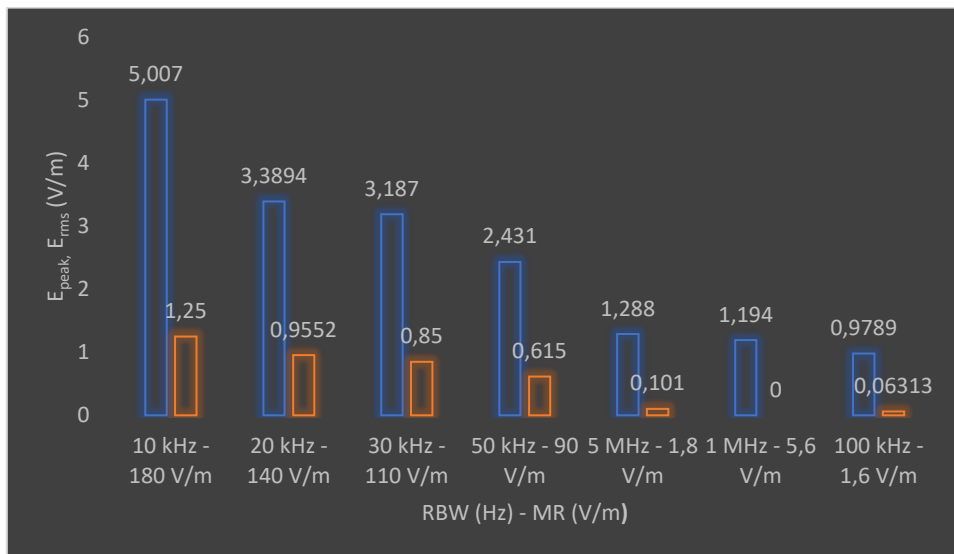
Ημερομηνία: 11/05/2022

Εργαστήριο Τηλεπικοινωνιών

2 φορητές συσκευές σε λειτουργία στη φασματική ζώνη W-LAN

Πίνακας 4.18 W-LAN - Εναλλαγές RBW - MR (2)

Ώρα καταγραφής μέτρησης	Αριθμός Μετρήσεων	RBW (Hz)	MR (V/m)	E_{peak} (V/m)	E_{rms} (V/m)
13:33	1 ^η	10 kHz	180 V/m	5,007 V/m	1,250 V/m
13:38	2 ^η	20 kHz	140 V/m	3,389 V/m	0,955 V/m
13:42	3 ^η	30 kHz	110 V/m	3,187 V/m	0,850 V/m
13:48	4 ^η	50 kHz	90 V/m	2,431 V/m	0,615 V/m
13:54	5 ^η	5 MHz	1,8 V/m	1,288 V/m	0,101 V/m
14:00	6 ^η	1 MHz	5,6 V/m	1,194 V/m	0,090 V/m
13:10	7 ^η	100 kHz	1,6 V/m	0,978 V/m	0,063 V/m



Σχήμα 4.26 Σύγκριση αποτελεσμάτων με τις διάφορες τιμές του RBW και του MR

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ραγδαία ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων δημιούργησε την αρχή, ώστε να θεσμοθετηθούν τα όρια ασφαλούς έκθεσης και το έναυσμα να διεξαχθεί αυτή η έρευνα, στην οποία πραγματοποιούνται μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών. Η μελέτη στηρίχθηκε στο μετρητή της Narda, ένα πεδιόμετρο που αναπτύχθηκε για τον έλεγχο των ορίων με την κατάλληλη μεθοδολογία, βάσει των επιπέδων αναφοράς, σε συνδυασμό με την ισοτροπική κεραία, που είναι κατάλληλη για τις συχνότητες 27 MHz - 3 GHz. Στο κεφάλαιο 4 στηρίζεται ο κορμός της μελέτης, καθώς διενεργούνται οι μετρήσεις, με την εμφάνιση των διαφόρων αποτελεσμάτων σε μορφή πινάκων και σχημάτων. Ταυτόχρονα, γίνεται αναφορά των βημάτων για την πραγματοποίηση των πειραματικών διαδικασιών. Πιο συγκεκριμένα, επεξεργάζονται δεδομένα με τη χρήση εύρεσης του λόγου έκθεσης και έπειτα χρησιμοποιήθηκαν εργαλεία στατιστικής ανάλυσης, που είναι χρήσιμα για την ανάλυση των τελικών αποτελεσμάτων. Οι ζώνες συχνοτήτων FM, VHF, UHF, TV, GSM 900, DAB, DCS 1800, UMTS, W-LAN είναι οι υπηρεσίες, που στηρίζεται η διπλωματική έρευνα. Αρχικά, διεξήχθησαν 2 πειράματα.

Στο πρώτο μελετήθηκε ο ορθός τρόπος εύρεσης του λόγου έκθεσης στη GSM 900 υπηρεσία, καθώς και ο υπολογισμός των ακόλουθων στατιστικών μεγεθών για μέση και για μέγιστη τιμή και στο δεύτερο πραγματοποιήθηκε μέτρηση σε όλο το φάσμα 0 - 3 GHz, με σκοπό να εξακριβωθεί η διαφορά μεταξύ της μέσης και μέγιστης τιμής της επιλεγμένης μεταβλητής E (V/m). Στις δύο εισαγωγικές μετρήσεις για τη ζώνη GSM 900 δεν παρατηρήθηκε υπέρβαση των ορίων, με τη μέγιστη τιμή κάτω από τα επίπεδα του ορίου κυμαίνεται στις 204.138 φορές, ενώ η δειγματική μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης δεν ξεπέρασε την τιμή των $4,27099 \cdot 10^{-6} \ll 1$, κάτι το οποίο είναι εύλογο δεδομένου του αραιού δικτύου κινητής τηλεφωνίας.

Εν συνεχεία μελετήθηκε το ασύρματο δίκτυο Wireless Lan, εξαιτίας της πιο πυκνής ζώνης και της εκπομπής μη-ιοντίζουσας ακτινοβολίας από τις φορητές συσκευές, καθώς και των εγκατεστημένων router. Οι πίνακες καταγραφής των μετρήσεων δε φανέρωσαν υπέρβαση των ορίων με μεγαλύτερη ένδειξη λόγου έκθεσης $8,20 \cdot 10^{-3}$, δηλαδή περίπου 121 φορές κάτω από το αυστηρότερο όριο των 60 %. Παράλληλα, χρησιμοποιήθηκαν 3 φορητές συσκευές με τις οποίες διενεργήθηκε πείραμα μέτρησης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, με την ταυτόχρονη λήψη ενός αρχείου 3 Giga Byte. Παρατηρήθηκε και στις 3 συσκευές ο καλός έλεγχος λειτουργίας με μέγιστη τιμή έντασης ηλεκτρικού 11,21 V/m για 3 λήψεις με το φασματικό αναλυτή σε κοντινή απόσταση. Παράλληλα, ο μέγιστος λόγος έκθεσης εμφάνισε τιμή 0,0551 < 1, δηλαδή 18,21 φορές κάτω από το όριο. Ωστόσο, ενώ οι δύο συσκευές δεν εμφάνισαν καθόλου ανησυχητικά αποτελέσματα, η μία εκπομπή λήψης κατέγραψε

μέγιστη τιμή 8,196 V/m, με λόγο έκθεσης 0,03 και 33,16 φορές κάτω από το θεσμοθετημένο όριο. Ενώ, το όριο τηρείται, φαίνεται πως η χρήση της συγκεκριμένης συσκευής εκπέμπει ισχυρότερο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο από τις υπόλοιπες 2. Έπειτα, ελέγχθηκε η επιτυχής μείωση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και κατά συνέπεια του λόγου έκθεσης με την σταδιακή απομάκρυνση του αναλυτή από το ακτινοβολούμενο μέσο. Πράγματι σε μηδενική απόσταση, η μέγιστη καταγραφή ήταν 8,619 V/m, με λόγο έκθεσης 0,03334 και 29,99 φορές κάτω από το όριο, ενώ στη μέγιστη απομάκρυνση 1,6 μ., το μετρούμενο μέγεθος μειώθηκε στα 1,610 V/m περίπου στο 1/8 της μέγιστης τιμής.

Ο έλεγχος των ζωνών, μετέπειτα GSM 1800 και FM-RADIO εμφάνισε πολύ χαμηλές τιμές, με ελάχιστη μέση τιμή λόγου έκθεσης $9,18 \cdot 10^{-8} \ll 1$ και μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης $1,56 \cdot 10^{-5} \ll 1$, τουλάχιστον 64 χιλιάδες φορές κάτω από τα όρια για την περιοχή τω GSM 1800, ενώ αντίστοιχα και στο FM-RADIO η μέγιστη τιμή λόγου έκθεσης κυμάνθηκε $2,44 \cdot 10^{-5}$, 40 χιλιάδες φορές περίπου κάτω από το όριο της FM υπηρεσίας.

Στο εργαστήριο τηλεπικοινωνιών διεξάγονται μαθήματα που απαιτούν τον εξοπλισμό κεραιών, με σκοπό την εξοικείωση των φοιτητών με τις πιο ευρέως διαδεδομένες κεραιές. Για αυτό, επιλέχθηκαν η κατευθυντική κεραία Yagi-Uda και η κεραία διπόλου. Όπως και με την αντίστοιχη μέθοδο στο ασύρματο δίκτυο Wireless Lan, ακολουθήθηκε και η ίδια διαδικασία για την εξαγωγή αποτελεσμάτων. Για την πρώτη περίπτωση της κατευθυντικής κεραίας δεν παρατηρήθηκε υπέρβαση των ορίων με υψηλότερη έκθεση $4,11 \cdot 10^{-3}$ σε κοντινή απόσταση και 243 φορές κάτω του ορίου GSM 900, ενώ ελάχιστη τιμή παρουσίασε η τιμή $8,65449 \cdot 10^{-6} \ll 1$, στην πιο απομακρυσμένη περιοχή του εργαστηρίου, 115 χιλιάδες φορές περίπου κάτω από το όριο. Για την κεραία διπόλου, δε διαπιστώθηκε υπέρβαση και ανησυχία της λειτουργίας της, καθώς φαίνεται και εδώ φαίνεται η ογκώδης διαφορά μεταξύ ορίων και αποτελεσμάτων. Η ελάχιστη μέση τιμή διαπιστώθηκε ότι ήταν $1,114 \cdot 10^{-5} \ll 1$, 87.115 φορές κάτω από το όριο, στον πιο απομακρυσμένο χώρο του εργαστηρίου, ωστόσο η μέγιστη τιμή σε κοντινή απόσταση από το πεδίομετρο $9,50 \cdot 10^{-3}$, 105 φορές κάτω από το όριο. Αφού, ελέγχθηκε η σωστή λειτουργία των κεραιών διαπιστώθηκε και σταδιακή μείωση της έντασης ηλεκτρικού πεδίου και κατά συνέπεια του λόγου έκθεσης όπως και στο W-LAN. Πιο συγκεκριμένα, η Yagi-Uda εμφάνισε στα 0 μ. μέση τιμή 1,809 V/m και μέγιστη τιμή 2,682 V/m, ενώ στα 1,6 μ. η μέση τιμή ήταν 0,2803 V/m και η μέγιστη τιμή 0,5656 V/m. Αντίστοιχα, για την κεραία διπόλου η μέση τιμή στα 0 μ. παρατηρήθηκε στα 1,472 V/m, ενώ η μέγιστη στα 2,431 V/m, ενώ στα 1,6 μ. η μέση τιμή δεν ξεπέρασε τα 0,1009 V/m και η μέγιστη τιμή τα 0,14 V/m.

Υπολογίστηκαν παράλληλα σε όλες τις φασματικές ζώνες στατιστικά μεγέθη. Στην περιοχή του W-LAN, η τυπική απόκλιση είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη μέση τιμή, που φαίνεται και από τη διασπορά των τιμών της μέσης και μέγιστης τιμής, όπως και φαίνονται από τα γραφήματα, ενώ το τυπικό σφάλμα μέσης και μέγιστης είναι όπως αναμένεται μικρότερο από την τυπική απόκλιση, ενώ η διάμεσος επιβε-

βαιώνει τον αριθμό σε όλες τις κατηγορίες που βρίσκεται στη μέση των τιμών, για μέση και μέγιστη τιμή.

Ξεχωριστή αναφορά στην παρούσα εργασία έχει η μέτρηση 9 περιοχών από 27 MHz - 2,4 GHz, με σκοπό τον υπολογισμό του συνολικού λόγου έκθεσης στους χώρους Φουαγιέ και αίθουσα ΙΕΕΕ, με παρουσία φοιτητών. Συγκεκριμένα από τις 9 μετρήσεις στο Φουαγιέ, εκτιμήθηκε πως ο συνολικός λόγος έκθεσης μέσης τιμής ήταν $2,15 \cdot 10^{-6}$, 415 χιλιάδες φορές κάτω από τα επίπεδα αναφοράς, ενώ ο συνολικός λόγος έκθεσης μέγιστης τιμής, $2,49 \cdot 10^{-3}$, 401 φορές κάτω από τα επίπεδα αναφοράς. Αντίστοιχα στην ΙΕΕΕ, εμφανίστηκε αναμενόμενα παρόμοιος λόγος έκθεσης μέσης και μέγιστης τιμής, $2,33 \cdot 10^{-6}$, 429 χιλιάδες φορές κάτω από τα επίπεδα αναφοράς, ενώ ο συνολικός λόγος έκθεσης μέγιστης τιμής, $2,29 \cdot 10^{-3}$, 344 φορές κάτω από τα επίπεδα αναφοράς, με τα όρια προφανώς να τηρούνται με αξιοσημείωτη διαφορά.

Ταυτόχρονα, υπολογίστηκε στην περιοχή του W-LAN, η πυκνότητα ισχύος και ακολουθήθηκε η μέθοδος για την εύρεση του λόγου έκθεσης, από τον τύπο που παρέχει η ΕΕΑΕ. Η μετατροπή της πυκνότητας ισχύος στην ένταση ηλεκτρικού πεδίου από τον κατάλληλο τύπο, παρατηρήθηκαν τα ίδια αποτελέσματα με τη μεθοδολογία που διενεργήθηκαν σε όλες τις εσωτερικές μετρήσεις στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών.

Τέλος, ο κατασκευαστής του Narda, μας παρέχει τη μεθοδολογία για τον καθορισμό των σημαντικών παραμέτρων RBW και MR, ώστε να γίνει σωστή πραγματοποίηση μετρήσεων. Σκοπός ήταν να μεταβάλλονται οι τιμές είτε αυξάνοντας τες σταδιακά, είτε θέτοντας ακραίες τιμές. Παρατηρήθηκε πως όσο κλιμακώνονταν οι τιμές του RBW και του MR, το γράφημα προφανώς άλλαζε, αλλά οι τιμές της έντασης ηλεκτρικού πεδίου ήταν παρόμοιες. Πιο συγκεκριμένα, για RBW = 100 kHz και MR = 1,6 V/m, η μέση και η μέγιστη τιμή της E ήταν 0,027 V/m και 0,607 V/m. Στην επιλογή που παρείχε το SRM - 3006, RBW = 1 MHz και MR = 2,8 V/m η μέση και η μέγιστη τιμή E ήταν 0,0222 V/m και 0,590 V/m. Ωστόσο, στη μέγιστη κλιμάκωση των παραμέτρων RBW = 3 MHz και MR = 5 V/m, η μέση και η μέγιστη της τιμή E ήταν 0,067 V/m και ήταν 1,179 V/m, όπως παρουσιάζεται και στο αντίστοιχο γράφημα εξέλιξης των τιμών. Αντίθετα, στην περίπτωση που γινόταν χαμηλή επιλογή RBW και υψηλή επιλογή MR και αντίθετα, τα αποτελέσματα είχαν μεγάλη απόκλιση από τα πραγματικά, δεδομένου ότι ο βαθμός ευαισθησίας και το επίπεδο διακριτότητας αλλοιωνόταν και δεν αντιλαμβάνοντουσαν το ακτινοβολούμενο πεδίο, όπως αναμενόταν. Επεξηγηματικότερα, για RBW = 10 kHz και MR = 180 V/m, η E μέση και μέγιστη τιμή ήταν αντίστοιχα 1,250 V/m και 5,009 V/m και για μέγιστο RBW = 5 MHz και ελάχιστο MR = 1,8 V/m η μέση και μέγιστη τιμή που λήφθηκαν ήταν 0,101 V/m και 1,288 V/m. Αυτές οι ενδείξεις φανερώνουν τη διαφορά με το πραγματικό αποτέλεσμα που προτείνει ο κατασκευαστής και μπορούν να προκαλέσουν μία ανακριβής υπέρβαση του ορίου αν δεν τηρηθεί η κατάλληλη μέθοδος επιλογής των παραμέτρων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Αλέξανδρος Π. Αβραάμ, «Στατιστική επεξεργασία δεδομένων από μετρήσεις υψίσυχνης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε όλη την Ελλάδα,» 2014.
- [2] Ψυχωγιού Ιωάννα, «Μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικού πεδίου για τον προσδιορισμό της έκθεσης σε εσωτερικούς χώρους,» 2011.
- [3] Μανίκας Μάριος , «ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΜΗ - ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΑΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (100 kHz - 3 GHz) ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ,» 2011.
- [4] Στυλιανός Κ. Ιωάννης, «Διεργαστηριακές Συγκρίσεις Μετρήσεων Ηλεκτρομαγνητικών Πεδίων,» 2013.
- [5] Ε.Ε.Α.Ε, «Έλεγχος καλής λειτουργίας του κινητού συχνοεπιλεκτικού σταθμού μέτρησης με σειριακό αριθμό 000WX50828 και θέση εγκατάστασης: Ξενοδοχείο Filoxenia,» 2020.
- [6] Κωνσταντίνος Κάππας, Γεώργιος Γουρζουλίδης, Χαρίλαος Τυράκης, «ΕΚΘΕΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΧΑΜΗΛΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΡΑΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΣΤΟ ΚΤΗΡΙΟ ΤΟΥ ΥΠΟΥΡΓΕΙΟΥ ΠΑΙΔΕΙΑΣ,» 2018.
- [7] ΔΟΥΛΗΓΕΡΗΣ ΧΡ., «ΕΚΘΕΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ Η/Μ ΕΝΤΟΣ ΤΟΥ ΓΕΝΙΚΟΥ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ ΡΕΘΥΜΝΗΣ,» 2017.
- [8] Teruo Onishi et. al., «Radiofrequency Exposure Levels from Mobile Phone Base Stations in Outdoor Environments and an Underground Shopping Mall in Japan,» 2021.
- [9] Cetin Kurnaz*, Dogan Yildiz, Serap Karagol, «Assessment of short/long term electric field strength measurements for a pilot district,» 2018.
- [10] HANA HABINAKOVA et. al., «MEASUREMENT OF THE VALUES OF RADIOFREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS AROUND THE HEAD OF ADOLESCENTS,» 2016.
- [11] Martin Gledhill, «Exposure to radiofrequency fields from WiFi in Zealand schools,» 2014.
- [12] Βικιπαίδεια, «Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρομαγνητική_ακτινοβολία.
- [13] ΤΣΙΜΠΟΥΚΗΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ, «ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΒΑΣΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ,» ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΡΗΤΗΣ, 2014.
- [14] Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ), «Μη - Ιοντιζούσα Ακτινοβολία,» [Ηλεκτρονικό]. Available: Μη ιοντιζούσα ακτινοβολία - Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (eeae.gr).

- [15] Κοινότητα Ηλεκτρονικών, «Ηλεκτρονικό Φάσμα,» [Ηλεκτρονικό]. Available: Ηλεκτρονικά.gr - Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (ΗΜΚ και τρόποι διάδοσης) (hlektronika.gr).
- [16] Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ), «Ιοντιζούσα Ακτινοβολία,» [Ηλεκτρονικό]. Available: Ιοντιζούσα ακτινοβολία - Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (eeae.gr).
- [17] Ελληνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων, «Τι είναι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία,» [Ηλεκτρονικό]. Available: Τι είναι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (eett.gr).
- [18] Electroschematics.com, «Mobile Cell Phone Radiation,» [Ηλεκτρονικό]. Available: Electroschematics.com.
- [19] Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ), «Επιδράσεις στην υγεία και στο περιβάλλον,» [Ηλεκτρονικό]. Available: Επιδράσεις στην υγεία και στο περιβάλλον - Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (eeae.gr).
- [20] Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ), «Όρια ασφαλούς έκθεσης,» [Ηλεκτρονικό]. Available: Όρια ασφαλούς έκθεσης - Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (eeae.gr).
- [21] Εθνικό Παρατηρητήριο, «Μεθοδολογία Μετρήσεων,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://paratiritirioemf.eeae.gr/images/Documents/Technical_Description/Methodologia_Metriseon.pdf.
- [22] Aktinovolvia, «The safe exposure limits on EMF Radiations in Greece,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://aktinovolvia.com/safe-limits-radiation-exposure/>.
- [23] Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ), «Τρόπος διενέργειας Μετρήσεων για την τήρηση των ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από κάθε κεραία,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://eeae.gr/%CE%BC%CE%B5-%CE%BC%CE%B9%CE%B1-%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%AC/%CE%BC%CE%B1%CE%B8%CE%B1%CE%AF%CE%BD%CE%BF%CF%85%CE%BC%CE%B5-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CE%B9%CF%82-%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CE%AF%CE%B5%CF%82/%CE%>.
- [24] Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ), «Νομοθετικό - Ρυθμιστικό Πλαίσιο, Η κατάσταση στην Ελλάδα,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.efie.gr/images/role-in-non-medical-applications/Karabetsos.pdf>.
- [25] Narda SRM 3006 Safety Solutions, «Manual,» [Ηλεκτρονικό]. Available: SRM-3006 (mcgill.ca).
- [26] Narda SRM 3006, «Selective Measurement of high frequency electromagnetic fields,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.narda-sts.com/en/selective-emf/srm-3006-field->

strength-analyzer/.

- [27] Γιώτης Νικόλαος, «Μέθοδος εκτίμησης της αθροιστικής μη ιονίζουσας ακτινοβολίας σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές - Υπολογισμός του ειδικού δείκτη απορρόφησης(SAR)», Πάτρα, 2017.
- [28] Εθνική Επιτροπή Κεραιών & Τηλεπικοινωνιών, «Κεραίες και Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.eett.gr/opencms/opencms/EETT/Electronic_Communications/Antennas_EMR/health/index.html.
- [29] Advanced High School Statistics, «First Edition, Confidence level,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://spot.pcc.edu/~evega/ConfidenceIntervals.html>.
- [30] Evaluation des incertitudes de mesure, «Evaluation de type B,» [Ηλεκτρονικό]. Available: http://optique-ingenieur.org/fr/cours/OPI_fr_M07_C01/co/Contenu_03.html.
- [31] Wikipedia, «GSM frequency bands,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/GSM_frequency_bands.
- [32] ΠΙΤΙΛΑΚΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ, «Συστήματα Κεραιών, Ειδικές περιπτώσεις γραμμικών κεραιών σύρματος,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://eclass.uowm.gr/modules/document/file.php/ICTE289/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CF%86%CE%AC%CE%BD%CE%B5%CE%B9%CE%B5%CF%82%20%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%BB%CE%AD%CE%BE%CE%B5%CF%89%CE%BD/%2807%29%20%CE%9A%CE%B5%CF%81%CE%B1%CE%AF%CE%B5%CF%82%20-%20Folded%20Dipole%2C%2>.