



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

**Ανάπτυξη λογισμικού διαχείρισης και αξιοποίησης των
δυνατοτήτων του Επιλεκτικού Μετρητή Ακτινοβολίας SRM-
3006**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Νικολάου Παναγιώτη
321/2018/152

Επιβλέπων: Καθ. Δημοσθένης Βουγιούκας

**Μέλη εξεταστικής επιτροπής: Επικ. Καθ. Κωνσταντίνος Μαλιάτσος, Επικ. Καθ. Εμμανουήλ
Καλλίγερος**

Σάμος, Φεβρουάριος, 2024

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Πρόλογος και ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Ανάπτυξη λογισμικού διαχείρισης και αξιοποίησης των δυνατοτήτων του Επιλεκτικού Μετρητή Ακτινοβολίας SRM-3006» εκπονήθηκε στο πλαίσιο του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του Τμήματος Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Αιγαίου.

Με το πέρας της παρούσας διπλωματικής εργασίας μου νιώθω την ανάγκη να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς τα άτομα που συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της, παρέχοντάς μου είτε γνώση, είτε ηθική υποστήριξη. Αρχικά, ευχαριστώ θερμά τον επιβλέπων Δρ. Δημοσθένη Βουγιούκα, καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Αιγαίου, για την εμπιστοσύνη και τον χρόνο που μου επέδειξε στην εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας. Επιπλέον, θέλω να τον ευχαριστήσω θερμά για τις υποδείξεις και τη στήριξή του, καθώς και για την πολύτιμη γνώση που απέκτησα κατά την πορεία των φοιτητικών μου χρόνων. Θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες μου ευχαριστίες και στη κυρία Βολακάκη Μαρία – Γαρυφαλλιώ, μαθηματικός, και στον κύριο Παπαϊωάννου Γρηγόριο, μηχανικός, του Εργαστηρίου Συστημάτων Υπολογιστών και Επικοινωνιών (ΕΣΥΕ) του Πανεπιστημίου Αιγαίου για την βοήθεια, την υπομονή αλλά και τις πολύτιμες γνώσεις που μοιράστηκαν μαζί μου. Ευχαριστίες θα ήθελα επίσης να απευθύνω σε όλους τους καθηγητές του τμήματος, για το γνωστικό υπόβαθρο, τον επαγγελματισμό και την έμπειρη καθοδήγηση που μου πρόσφεραν όλα αυτά τα χρόνια. Τέλος, θέλω να εκφράσω ιδιαιτέρως τις ευγνωμοσύνες μου προς την οικογένειά μου για τη συνεχή συμπαράστασή τους, τον αφιερωμένο χρόνο και την αγάπη τους, καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές τους και όλα όσα μου έχουν προσφέρει κατά τη διάρκεια της ζωής μου και των σπουδών μου.

© 2024

του

ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Πίνακας περιεχομένων

1	Εισαγωγή.....	1
1.1	Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και η αναγκαιότητα μέτρησής της.....	1
1.2	Αντικείμενο διπλωματικής.....	2
1.3	Μεθοδολογία.....	3
1.4	Δομή της διπλωματικής	3
2	Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία.....	4
2.1	Εισαγωγή στην Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία	4
2.2	Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα.....	6
2.2.1	Ιοντίζουσα ακτινοβολία	6
2.2.2	Μη Ιοντίζουσα ακτινοβολία.....	7
2.2.3	Ιοντίζουσα vs Μη Ιοντίζουσα ακτινοβολία	7
2.3	Ηλεκτρομαγνητικά πεδία	8
2.3.1	Δημιουργία ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας	8
2.3.2	Ηλεκτρικά πεδία	9
2.3.3	Μαγνητικά πεδία	9
2.4	Συνήθεις μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας	10
2.5	Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία γύρω μας	11
2.6	Έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία	12
2.6.1	Βιολογικές επιδράσεις στον ανθρώπινο οργανισμό	12
2.6.2	Λόγος έκθεσης και Συνολικός λόγος έκθεσης.....	13
2.7	Νόμοι, Διατάξεις, Κανονισμοί, Πρότυπα και έλεγχος.....	15
2.7.1	Διεθνής Επιτροπή για την Προστασία από τις Μη - Ιονίζουσες ακτινοβολίες (ICNIRP).....	15
2.7.2	Βασικοί Περιορισμοί	17
2.7.3	Επίπεδα αναφοράς.....	18
2.7.4	Ελληνικό Θεσμικό Πλαίσιο για τα Ηλεκτρομαγνητικά πεδία.....	18
3	Μετρικός Εξοπλισμός.....	21
3.1	Επιλεκτικός μετρητής ακτινοβολίας SRM-3006	21
3.1.1	Είδος μετρητικού εξοπλισμού	22
3.1.2	Διάταξη και δυνατότητες του μετρικού εξοπλισμού	22
3.2	Το Εργαστήριο Συστημάτων και Επικοινωνιών του Τμήματος Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Αιγαίου.....	25
3.2.1	Υπηρεσία Μέτρησης Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας.....	25

3.2.2	Πιστοποίηση ISO:17025	25
4	Μεθοδολογία μετρήσεων	27
4.1	Προδιαγραφές μετρήσεων του Εργαστηρίου Συστημάτων Υπολογιστών και Επικοινωνιών ΕΣΥΕ 27	
4.2	Θέσεις μετρήσεων	30
4.3	Επεξεργασία Μετρήσεων	31
4.4	Αποτελέσματα Μετρήσεων Ευρείας Ζώνης	33
4.5	Αποτελέσματα Μετρήσεων Στενής Ζώνης	33
4.6	Ευρυζωνικές μετρήσεις	34
4.7	Μετρήσεις επιλεκτικές ως προς τη συχνότητα	35
4.8	Αποτελέσματα Μετρήσεων του πιο επιβαρυνμένου ΣΛΕ	35
5	Πρότυπο Έκθεσης Αποτελεσμάτων Μετρήσεων Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας	38
5.1	Η δομή της έκθεσης	38
5.2	Ο σκοπός της έκθεσης	39
5.3	Γενικό τμήμα έκθεσης	39
5.4	Πρότυπα Μετρήσεων	39
5.5	Ειδικό Τμήμα Έκθεσης	39
5.6	Συμπεράσματα	40
5.7	Βιβλιογραφία	40
5.8	Παράρτημα	40
6	Λογισμικό	41
6.1	Επιλογή γλώσσας προγραμματισμού	41
6.2	Επιλογή περιβάλλοντος υλοποίησης	42
6.3	Οδηγίες Εγκατάστασης	43
6.4	Βιβλιοθήκες	43
6.5	Υλοποίηση	44
6.6	Παραθυρικό Περιβάλλον Χρήστη	52
7	Συμπέρασμα	60
7.1	Μελλοντικές βελτιώσεις	61
	Βιβλιογραφία	62

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1. Το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα	6
Εικόνα 2 Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα και οι επιμέρους συνιστώσες του	9
Εικόνα 3 Κατευθυντήριες Οδηγίες.....	19
Εικόνα 4 Ισοτροπική Κεραία τριών αξόνων SRM.....	23
Εικόνα 5: Συνδεσμολογία Μέτρησης και Καταγραφής	24
Εικόνα 6 Παρουσιάζεται απόσπασμα από το αρχείο excel Processing Low	31
Εικόνα 7 Παρουσιάζεται Απόσπασμα από το αρχείο Spectrum Analysis	32
Εικόνα 8 Παρουσιάζεται απόσπασμα από το αρχείο csv Raw Data	32
Εικόνα 9 Παράδειγμα Έντασης Ηλεκτρικού Πεδίου στην περιοχή μέτρησης για τη ζώνη συχνοτήτων 790-876 MHz	34
Εικόνα 10 Παράδειγμα μιας Υπολογιζόμενης Πυκνότητας Ροής Ισχύος για κάθε υποπεριοχή του φάσματος στο πιο επιβαρυνμένο σημείο μέτρησης και το αντίστοιχο θεσμοθετημένο όριο	36
Εικόνα 11 Παράδειγμα ραδιογράμματος, ο ΛΕ μαζί με την Αβεβαιότητα του σε κάθε υποπεριοχή του φάσματος και ο ΣΛΕ μαζί με την Αβεβαιότητά του που ελέγχθηκε στο πιο επιβαρυνμένο σημείο.	36
Εικόνα 12 Παράδειγμα, φορές κάτω από το όριο του Λόγου Έκθεσης (ΛΕ) σε κάθε υποπεριοχή του φάσματος που ελέγχθηκε στο πιο επιβαρυνμένο σημείο	37
Εικόνα 13 Παράδειγμα της Ποσοστιαίας συνεισφοράς της Συνολικής ηλεκτρομαγνητικής Επιβάρυνσης της Πυκνότητας Ροής Ισχύος στο πιο επιβαρυνμένο σημείο	37
Εικόνα 14 Διάγραμμα ροής της εφαρμογής	45
Εικόνα 15 Η αρχική εικόνα της εφαρμογής	53
Εικόνα 16 Το πλαίσιο Information, χωρίς δεδομένα από τον χρήστη	53
Εικόνα 17 Το πλαίσιο Information, χωρίς δεδομένα από τον χρήστη	54
Εικόνα 18 Εμφάνιση μηνυμάτων στην κονσόλα όταν συμπληρώνονται δεδομένα.....	54
Εικόνα 19 Το πλαίσιο CSV	55
Εικόνα 20 Επιλογή κατάλληλου αρχείου από τον H/Y.....	55
Εικόνα 21 Εμφάνιση μηνυμάτων στην κονσόλα από το άνοιγμα του αρχείου.....	55
Εικόνα 22 Το πλαίσιο Images	56
Εικόνα 23 Επιλογή αρχείου εικόνας.....	56
Εικόνα 24 Όταν έχουν επιλεγεί όλες οι εικόνες	57
Εικόνα 25 Μήνυμα για την πορεία εισαγωγής της εικόνας	57
Εικόνα 26 Το πλαίσιο Excel.....	57
Εικόνα 27 Εισαγωγή των template και εμφάνιση αντίστοιχων μηνυμάτων στην κονσόλα.....	58
Εικόνα 28 Δημιουργία αρχείου έκθεσης αποτελεσμάτων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.....	59

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1. Βασικοί περιορισμοί για ηλεκτρικά, μαγνητικά & ηλεκτρομαγνητικά πεδία (0 Hz - 300 GHz), Σημείωση: f είναι η συχνότητα σε Hz	17
Πίνακας 2. Επίπεδα αναφοράς για ηλεκτρικά, μαγνητικά & ηλεκτρομαγνητικά πεδία (0 Hz - 300 GHz). Σημείωση: f είναι η συχνότητα στις μονάδες που εμφανίζονται στη στήλη της περιοχής συχνοτήτων.	18
Πίνακας 3 Βασικοί Περιορισμοί Έκθεσης 100kHz – 10 GHz	20
Πίνακας 4 Επίπεδα αναφοράς στην περιοχή συχνοτήτων 100 kHz – 300 GHz, όπως προκύπτουν μετά την εφαρμογή των συντελεστών μείωσης 70% ή 60% (αναφέρονται σε ευαίσθητες περιοχές όπως σχολεία, νοσοκομεία, δημόσια κτίρια) στους βασικούς περιορισμούς. Σημείωση: f είναι η συχνότητα σε μονάδες MHz που αναγράφεται στη στήλη της ζώνης συχνοτήτων στην εκάστοτε γραμμή του πίνακα.	20
Πίνακας 5 Όρια αναφοράς για τις μετρηθείσες ζώνες συχνοτήτων βάσει του Ν. 4635, ΦΕΚ 167/Α/30-10- 2019, για τη δυσμενέστερη περίπτωση (αυστηρότερα όρια)	29
Πίνακας 6 Παράδειγμα αναλυτικής παρουσίασης αποτελεσμάτων ευρυζωνικών μετρήσεων για την Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου και την Πυκνότητα Ροής Ισχύος σε όλα τα σημεία μέτρησης.	33
Πίνακας 7 Παράδειγμα μιας Αναλυτικής παρουσίασης του Συνολικού Λόγου Έκθεσης (ΣΛΕ) και της Αβεβαιότητας του Συνολικού Λόγου Έκθεσης για τις ευρυζωνικές μετρήσεις.	34
Πίνακας 8 Αναλυτική επισκόπηση φάσματος 75MHz - 3GHz για την Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου, την Πυκνότητα Ροής Ισχύος, το ΛΕ και την Αβεβαιότητα του σε κάθε υποπεριοχή του φάσματος για όλα τα σημεία ξεχωριστά	35

Ακρωνύμια

BIPM	Bureau International des Poids et Mesures
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
ISO	International Standardization Organization
SAR	Specific Absorption Rate
SI	Système International d'Unités
SRM-3006	Selective Radiation Meter
WHO	World Health Organization
ΕΛΟΤ	Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης
ΕΣΥΕ	Εργαστήριο Συστημάτων Υπολογιστών και Επικοινωνιών
ΚΥΑ	Κοινής Υπουργικής Απόφασης
ΛΕ	Λόγος Έκθεσης
ΠΟΥ	Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας
ΣΛΕ	Συνολικός Λόγος Έκθεσης
ΤΠΕ	Τεχνολογίας Πληροφορικής και Επικοινωνιών

Περίληψη

Η ύπαρξη των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων είναι γνωστή εδώ και πολύ καιρό και για σχεδόν τόσο καιρό, οι ερευνητές ερευνούν τι είναι και κατά πόσο επηρεάζουν τους ανθρώπους. Η παρουσία ηλεκτρομαγνητικών πεδίων έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία εκατό χρόνια λόγω της ανάπτυξης της τεχνολογίας και της αυξημένης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η Ελλάδα ακολουθεί τις μέγιστες συνιστώμενες τιμές από τη Διεθνή Επιτροπή για την Προστασία από Μη Ιονίζουσες Ακτινοβολίες (ICNIRP), οι οποίες αποσκοπούν στην πρόληψη σοβαρών επιπτώσεων και γενικά δεν υπερβαίνουν τα επίπεδα που θεωρούνται ασφαλή για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία.

Σκοπός της διπλωματικής είναι η δημιουργία ενός λογισμικού που θα παράγει με αυτοματοποιημένο τρόπο Εκθέσεις των αποτελεσμάτων μέτρησης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας διαφόρων περιοχών. Θα διευκολύνει τους υπεύθυνους μηχανικούς μετρήσεων του Εργαστηρίου Συστημάτων Υπολογιστών και Επικοινωνιών (ΕΣΥΕ) του Πανεπιστημίου Αιγαίου στην δημιουργία της Έκθεσης η οποία είναι η παρουσίαση των αποτελεσμάτων από την εκτέλεση μετρήσεων που θα έχουν κάνει με τον επιλεκτικό μετρητή ακτινοβολίας SRM-3006 (**Selective Radiation Meter**), της Narda Safety Test Solutions, για την αποτύπωση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε συγκεκριμένες θέσεις σε συγκεκριμένη περιοχή.

Η χρησιμοποίηση του λογισμικού επιτυγχάνει τη μέγιστη εξοικονόμηση κάθε τύπου ενέργειας, χρόνου και αποφυγή λαθών που σχετίζονται με την σύνταξη μιας τέτοιας έκθεσης.

Λέξεις Κλειδιά: *Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία, Selective Radiation Meter SRM-3006, Ανάπτυξη Λογισμικού Δημιουργίας Αναφορών*

Abstract

The existence of electric and magnetic fields has been known for a long time, and for almost as long, researchers have been investigating what they are and how they affect people. Among other things, magnetic fields are what enable migratory birds to navigate such long distances. The presence of magnetic fields has increased significantly in the last hundred years due to the development of technology and increased consumption of electricity. Greece follows the maximum recommended values from the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), which are intended to prevent serious effects and generally do not exceed levels considered safe for the environment and human health.

The purpose of the diploma is to create software that will automatically produce Reports of the results of measuring electromagnetic radiation of various areas. It will facilitate the engineers of the Computer and Communication Systems Laboratory (CCSL), - a unit in the Department of Information and Communication Systems Engineering of the University of the Aegean - in the creation of a Report. The report is the presentation of the results of the measurements they will have made with the **Selective Radiation Meter SRM-3006**, by Narda Safety Test Solutions, to capture electromagnetic radiation at specific locations in a specific area.

The use of the software achieves the maximum saving of energy, time and avoiding errors related to the writing of such a report.

Keywords: *Electromagnetic Fields, Selective Radiation Meter SRM-3006, Development of Report Generation Software*

1

Εισαγωγή

1.1 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και η αναγκαιότητα μέτρησής της

Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία σε όλες τις συχνότητες αποτελούν μία από τις πιο κοινές και γρήγορα αναπτυσσόμενες περιβαλλοντικές επιρροές. Αυτές οι επιρροές συνήθως προκαλούν ανησυχία και δημιουργούν εικασίες. Η ανθρώπινη έκθεση σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια λόγω της χρήσης τεχνολογίας και των αλλαγών στον τρόπο ζωής. Όλοι οι πληθυσμοί εκτίθενται σε διάφορα επίπεδα ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, και αυτά τα επίπεδα αναμένεται να αυξάνονται όσο προχωρεί η τεχνολογική εξέλιξη. Αυτό έχει προκαλέσει ανησυχίες όσον αφορά τυχόν επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου και το περιβάλλον. Επομένως, η μέτρηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας έχει γίνει ολοένα και πιο σημαντική για την προστασία της υγείας και του περιβάλλοντος.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία υπάρχει από τη γέννηση του σύμπαντος. Το φως είναι η πιο οικεία της μορφή. Τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία αποτελούν μέρος του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκτείνεται από τα στατικά ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, μέσω της ραδιοσυχνότητας και της υπέρυθρης ακτινοβολίας, έως τις ακτίνες X. Τα μαγνητικά πεδία εμφανίζονται μόνο όταν παράγεται, μεταφέρεται ή χρησιμοποιείται ηλεκτρική ενέργεια. Τα μαγνητικά πεδία που σχηματίζονται συνήθως δεν επηρεάζονται ούτε από κτίρια ούτε από βλάστηση και ως εκ τούτου μπορεί να είναι δύσκολο να θωρακιστούν, ωστόσο τα πεδία μειώνονται πολύ γρήγορα με την απόσταση από την πηγή. [1]

Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, σε αντίθεση με πολλούς άλλους παράγοντες στο περιβάλλον μας, δεν μπορούν να γίνουν αισθητά με τις αισθήσεις μας και δεν έχουμε την ικανότητα να προσδιορίσουμε πόσο ισχυρά είναι σε αντίθεση, για παράδειγμα, με τον ήχο. Κανονικά, δεν χρειάζεται να γίνονται μετρήσεις καθώς η συντριπτική πλειονότητα των συσκευών, μηχανών και γραμμών στο περιβάλλον μας εκπέμπουν πεδία πολύ κάτω από τις οριακές τιμές και επίσης υπάρχουν απλοί εμπειρικοί κανόνες για το πόσο γρήγορα μειώνονται τα πεδία με την απόσταση από την πηγή. Απαιτούνται όμως μετρήσεις σε περιπτώσεις που τα ρεύματα ή οι τάσεις είναι τόσο

μεγάλες που υπάρχει πιθανότητα να υπερβούν τις οριακές τιμές. Για τη διεξαγωγή τέτοιων μετρήσεων, απαιτείται σημαντική ικανότητα και ειδικά όργανα μέτρησης. [1]

Η μέτρηση των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων είναι ένα δύσκολο έργο. Απαιτείται αφενός η πρόσβαση σε όργανα μέτρησης προσαρμοσμένα στις συχνότητες των πεδίων, αφετέρου απαιτείται σημαντική γνώση της τεχνολογίας μετρήσεων καθώς και θεωρητική και πρακτική γνώση των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. Προκειμένου να καθοριστούν οι οριακές τιμές, απαιτείται επίσης πρόσβαση σε περισσότερο ή λιγότερο προηγμένα ανατομικά μοντέλα και υπολογιστές που μπορούν να προσομοιώσουν πώς ένα εξωτερικό ηλεκτρομαγνητικό πεδίο επηρεάζει το σώμα. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ηλεκτροτεχνικής Τυποποίησης (European Committee for Electrotechnical Standardization), CENELEC, αναπτύσσει πρότυπα για τις ηλεκτροτεχνικές βιομηχανίες στην Ευρώπη. Η CENELEC δημοσίευσε μια σειρά προτύπων που καθορίζουν λεπτομερώς πώς πρέπει να γίνονται οι μετρήσεις των τιμών εισόδου και πώς πρέπει να γίνεται ο προσδιορισμός των οριακών τιμών για την ασφάλεια των ατόμων και των περιβαλλόντων που εκτίθενται σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Τα πρότυπα του CENELEC συμβάλλουν στην εξασφάλιση της συμβατότητας και της ασφάλειας των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών προϊόντων και υπηρεσιών σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Αυτά τα πρότυπα καθορίζουν τις διαδικασίες μέτρησης και την αξιολόγηση των επιπέδων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων σε διάφορα περιβάλλοντα. [2]

1.2 Αντικείμενο διπλωματικής

Μέσω της χρήσης του εργαλείου μέτρησης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας SRM-3006, ένα εργαλείο το οποίο χρησιμοποιεί το ΕΣΥΕ, έγινε εμφανής το πρόβλημα της χρονοβόρας ανάλυσης και επεξεργασίας του τεράστιου όγκου δεδομένων που συλλέγουν οι ερευνητές και που θα πρέπει να επεξεργαστούν και να παρουσιάσουν με κατανοητό και γραφικό τρόπο χωρίς λάθη. Η λύση που προτάθηκε από τον ΕΣΥΕ στο πρόβλημα αυτό είναι η δημιουργία ενός λογισμικού που θα δέχεται, θα αναλύει και θα επεξεργάζεται τα δεδομένα του μετρητή SRM-3006 και θα παράγει αυτοματοποιημένες εκθέσεις (αναφορές) των αποτελεσμάτων των μετρήσεων. Η εφαρμογή θα επιτυγχάνει τη μέγιστη εξοικονόμηση κάθε τύπου ενέργειας και χρόνου και εξάλειψη λαθών που σχετίζονται με την σύνταξη μιας τέτοιας έκθεσης κάνοντας την εργασία των μηχανικών αποδοτικότερη και αποτελεσματικότερη.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη αυτού του λογισμικού. Μελετάται, σχεδιάζεται και υλοποιείται μια εφαρμογή, της οποίας το αντικείμενο είναι η μετάπτωση δεδομένων διαφόρων τύπων από αρχεία που περιέχουν μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από διάφορα σημεία κάποιας περιοχής. Τα αρχεία περιέχουν επίσης συναρτήσεις που δέχονται τα δεδομένα και τα όρια αναφοράς που αφορούν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία βάση της κείμενης νομοθεσίας και παράγουν γραφήματα και πίνακες. Η εφαρμογή είναι η αυτοματοποίηση της σύνταξης μιας έκθεσης της οποίας ο σκοπός είναι η παρουσίαση των αποτελεσμάτων από την εκτέλεση μετρήσεων για την αποτύπωση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε κάποιες συγκεκριμένες θέσεις σε κάποια περιοχή.

1.3 Μεθοδολογία

Για την ανάπτυξη την διπλωματικής εργασίας ακολουθήθηκε η εξής μεθοδολογία:

- Βιβλιογραφική έρευνα για την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, το θεσμικό πλαίσιο, τα πρότυπα μετρήσεων, το ΕΣΥΕ και το εργαλείο μέτρησης SRM-3006
- Βιβλιογραφική έρευνα για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη της εφαρμογής που αφορούσε την επιλογή του περιβάλλοντος, των εργαλείων και της γλώσσας προγραμματισμού που επιλέχθηκαν για την υλοποίησή της.

1.4 Δομή της διπλωματικής

Αρχικά παρουσιάζεται το θεωρητικό πλαίσιο σχετικό με το αντικείμενο της διπλωματικής στο Κεφάλαιο 2. Το Κεφάλαιο 3 παρουσιάζει το ΕΣΥΕ. Το Κεφάλαιο 4 παρουσιάζει το όργανο μέτρησης SRM-3006 που χρησιμοποιεί το ΕΣΥΕ για την μέτρηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Το κεφάλαιο 5 αναφέρεται στην δομή που πρέπει να έχει η έκθεση αποτελεσμάτων. Το κεφάλαιο 6 παρουσιάζει την ανάπτυξη και την λειτουργία του λογισμικού παραγωγής της έκθεσης και τέλος ακολουθούν τα Συμπεράσματα.

2

Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία

2.1 Εισαγωγή στην Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Αυτή η ενότητα εμπεριέχει τη θεωρία που αποτέλεσε το υπόβαθρο για την διπλωματική εργασία και περιγράφει συνοπτικά τα φαινόμενα που περιβάλλουν τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία.

Στη φύση και στην καθημερινότητά μας, υπάρχουν αμέτρητες πηγές που εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Αυτές περιλαμβάνουν το γήινο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, τους μαγνήτες, τις οικιακές συσκευές, όπως το ψυγείο και ο φούρνος μικροκυμάτων, αλλά και καθημερινές συσκευές όπως το ραδιόφωνο, τηλεόραση, ηλεκτρονικοί υπολογιστές. Επιπλέον, το ηλιακό φως, οι μηχανές laser και άλλες πηγές συνιστούν επίσης πηγές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Ορισμός της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας:

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αναφέρεται στην εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας στον χώρο σε μορφή κυμάτων που ονομάζονται ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Αυτά τα κύματα αποτελούνται από συγχρονισμένα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία που ταλαντώνονται κάθετα μεταξύ τους και κάθετα προς τη διεύθυνση διάδοσής τους. Στο κενό, αυτά τα κύματα διαδίδονται με την ίδια ταχύτητα με το φως ($c=299.792.458$ m/s), ενώ μέσα σε οποιοδήποτε υλικό κινούνται ελαφρώς πιο αργά από αυτήν του φωτός. [3],[4],[5],[6]

Συχνά ακούμε για ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, ηλεκτρομαγνητικά πεδία καθώς και για ηλεκτρομαγνητικά κύματα, στην ουσία όμως, πρόκειται για τα ίδια φαινόμενα, τα οποία μελετάμε από διαφορετικές σκοπιές:

- της μεταφοράς ενέργειας (ακτινοβολία),
- της υλικής δομής (πεδίο) ή
- του τρόπου διάδοσης (κύμα) [3].

Άρα θα μπορούσαμε να πούμε πως [7] «ως ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία εννοούμε τη διάδοση της ενέργειας του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου υπό μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Ένα φυσικό σύστημα, λοιπόν, που εκπέμπει ενέργεια μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (π.χ., ένα άτομο, ένα μόριο, ένας πυρήνας, ένα θερμό σώμα, μια κεραία ραδιοφωνικού σταθμού, κλπ.) λέμε ότι εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ή απλά ότι ακτινοβολεί».

Τα βασικά χαρακτηριστικά της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας περιλαμβάνουν:

- το μήκος κύματος (λ)
- τη συχνότητα (ν) και
- τη μεταφερόμενη ενέργεια.

Το μήκος κύματος σχετίζεται άμεσα με τη συχνότητα εκπομπής, καθώς όσο μικρότερο είναι το μήκος, τόσο υψηλότερη είναι η συχνότητα. [3],[4],[5],[6]

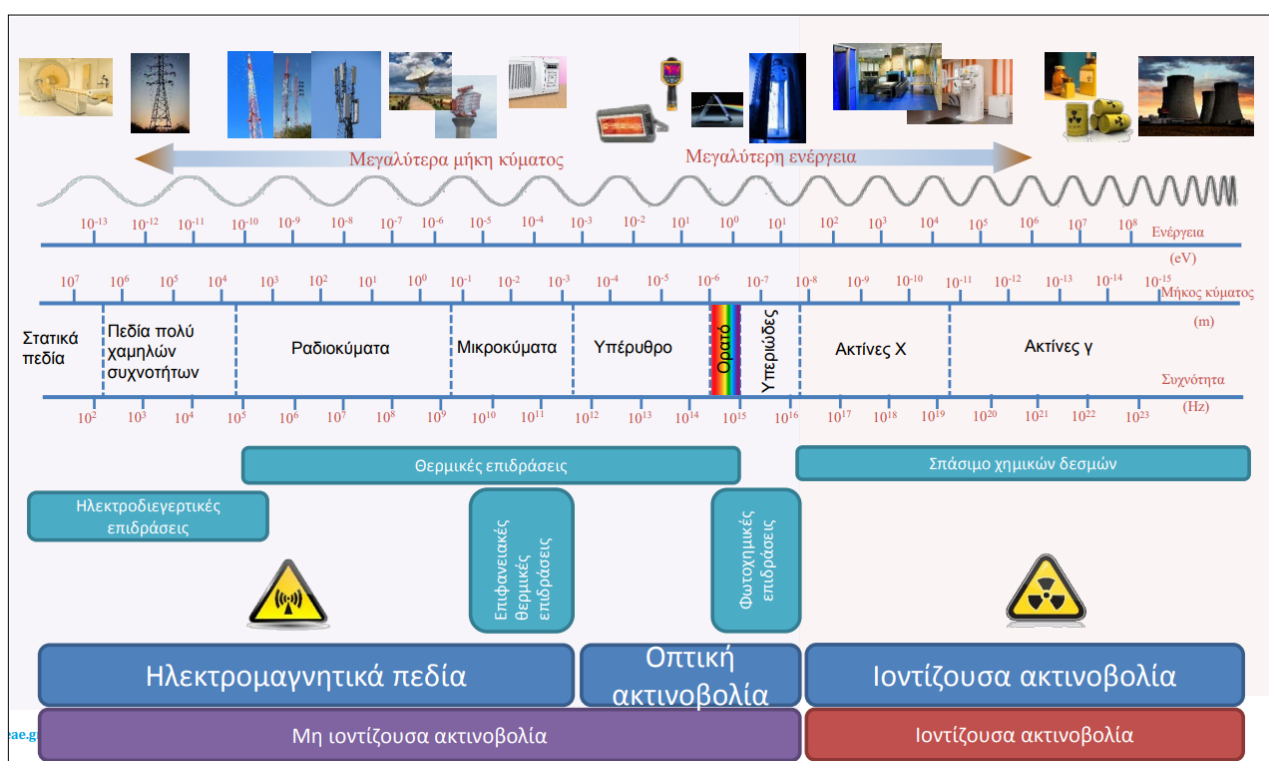
Ένα **κύμα** αναφέρεται σε μια διαταραχή που μεταδίδεται στο χώρο και το χρόνο, επηρεάζοντας ένα συγκεκριμένο φυσικό μέγεθος, ανάλογα με το είδος του κύματος. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα μπορούν να διαδίδονται ακόμη και στο κενό, και η διαταραχή τους σχετίζεται με την ένταση του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου. Το **μήκος** κύματος αναφέρεται στην απόσταση που διανύει το κύμα σε ένα χρονικό διάστημα που αντιστοιχεί σε μια περίοδο. Καθώς το κύμα είναι ένα περιοδικό φαινόμενο, ουσιαστικά αποτελεί την επανάληψη μιας διαταραχής, με το μήκος αυτής της διαταραχής να ορίζει το μήκος κύματος. Συνεπώς, το μήκος κύματος αντιπροσωπεύει την ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο διαφορετικών σημείων στο κύμα που βρίσκονται στην ίδια φάση. [3],[4],[5],[6],[8]

Η **συχνότητα** αναφέρεται στον αριθμό των επαναλήψεων ενός φαινομένου (κύματος) ανά μονάδα χρόνου. Χαρακτηρίζει οποιοδήποτε φυσικό μέγεθος που υφίσταται περιοδικές μεταβολές, δηλαδή επαναλαμβάνει τις ίδιες τιμές σε τακτικά χρονικά διαστήματα. Συνεπώς, αναπαριστά περιοδικές κινήσεις όπου η θέση, η ταχύτητα και η επιτάχυνση του αντικειμένου μεταβάλλονται περιοδικά. Για τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, η συχνότητα αντιπροσωπεύει τη συχνότητα με την οποία μεταβάλλονται περιοδικά οι τιμές του ηλεκτρικού ή μαγνητικού πεδίου τους σε συγκεκριμένη θέση ή χρονική στιγμή. Στα περιοδικά φαινόμενα, η συχνότητα αποτελεί το ρυθμό επανάληψης της κίνησης. Σύμφωνα με το Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI), η συχνότητα μετριέται σε Hertz (Hz), όπου ένα Hertz αντιστοιχεί σε μία ταλάντωση ανά δευτερόλεπτο. Το μήκος κύματος συνδέεται με την ταχύτητα διάδοσης του κύματος μέσω της σχέσης ($U = \lambda \nu$, όπου είναι η ταχύτητα διάδοσης, λ το μήκος κύματος και ν η συχνότητα. Για τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, η ταχύτητα διάδοσης είναι η ταχύτητα του φωτός c , η οποία στον κενό είναι περίπου 2.998×10^8 μέτρα ανά δευτερόλεπτο. [3],[4],[5],[6],[8]

Όπως προαναφέρθηκε τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα πηγάζουν από επιταχυνόμενα ηλεκτρικά φορτία. Επίσης, παράγονται όταν ένα ηλεκτρόνιο χάνει μέρος της ενέργειάς του και καταλήγει σε χαμηλότερη τροχιά ή ενεργειακή στάθμη κοντά στον πυρήνα. Αυτό οδηγεί σε μια ταλάντωση που διαδίδεται στο χώρο ως ένα ταυτόχρονο ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο. Αυτά τα δύο πεδία είναι κάθετα μεταξύ τους και επίσης κάθετα στην κατεύθυνση διάδοσης του παραγόμενου κύματος, γνωστού ως ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Όταν αυτό το κύμα συγκρούεται με ένα άτομο, τα δύο αυτά πεδία μπορούν να **μεταφέρουν ενέργεια** σε ένα ηλεκτρόνιο, προκαλώντας το να μεταβεί σε μια υψηλότερη ενεργειακή στάθμη ή ακόμα και να απελευθερωθεί από το άτομο (φωτοηλεκτρικό φαινόμενο). Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μεταφέρει ενέργεια μέσω των φορέων των ηλεκτρομαγνητικών αλληλεπιδράσεων, γνωστών ως φωτόνια. Κάθε φωτόνιο φέρει ενέργεια που εξαρτάται από τη συχνότητά του, όπως περιγράφεται από τη σχέση $E=h\nu$, όπου $h=6.624 \times 10^{-34}$ Js και είναι η σταθερά του Planck. [4]

2.2 Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

Όλες οι μορφές της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας συνιστούν το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, κινούνται με την ταχύτητα του φωτός στο κενό και διαφέρουν στις τιμές της συχνότητας (και του μήκους κύματος). Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, στη θεωρία του, εκτείνεται από πρακτικά μηδενικές συχνότητες έως το άπειρο. Με βάση κάποιες χαρακτηριστικές ιδιότητες των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, το φάσμα διακρίνεται σε διάφορες ζώνες. Αυτές περιλαμβάνουν τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, την υπέρυθη ακτινοβολία, το ορατό φως, την υπεριώδη ακτινοβολία, καθώς και τις ακτίνες X και τις ακτίνες γ. Αυτές οι μορφές της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι το εύρος της περιοχής συχνοτήτων που καλύπτουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα και ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός στο κενό. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα διαιρείται συνήθως σε δύο κύριες κατηγορίες: την ιοντίζουσα και τη μη ιοντίζουσα ακτινοβολία. [4], [10]



Εικόνα 1. Το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

2.2.1 Ιοντίζουσα ακτινοβολία

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με συχνότητα άνω των 10^{16} Hz (υψηλότερη συχνότητα από το ορατό φως) είναι γνωστή ως ιοντίζουσα ακτινοβολία. Χαρακτηρίζεται από το μικρότερο μήκος κύματος και την μεταφορά πολύ υψηλής ενέργειας. Τα φωτόνια αυτής της ακτινοβολίας μπορούν να διαταράξουν την ύλη, να διακόψουν χημικούς δεσμούς και να προκαλέσουν βλάβες στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της ενέργειας που μεταφέρουν. Κατά τον ιονισμό ενός ατόμου, ένα ηλεκτρόνιο απομακρύνεται βίαια από τον πυρήνα, δημιουργώντας δύο αντίθετα φορτισμένα

ιόντα. Αυτή η κατάσταση συνήθως είναι επικίνδυνη, καθώς μπορεί να προκαλέσει αποσύνθεση των δεσμών στο γενετικό υλικό DNA των κυττάρων, προκαλώντας βλάβες στην υγεία. Η έκταση των επιπτώσεων στην υγεία εξαρτώνται από τη δόση, τον τύπο της ακτινοβολίας και του ιστού. Παραδείγματα ιοντίζουσων ακτινοβολιών περιλαμβάνουν τις υπεριώδεις ηλιακές ακτίνες, την κοσμική ακτινοβολία, τις ακτίνες X (με ευρεία εφαρμογή στην ιατρική), και τις ακτινοβολίες γ (ραδιενέργεια) που προέρχονται από τους ασταθείς πυρήνες ατόμων [3],[6],[10],[11],[12],[13]

2.2.2 Μη Ιοντίζουσα ακτινοβολία

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που κινείται σε συχνότητες χαμηλότερες από 10¹⁶ Hz γενικά χαρακτηρίζεται ως μη ιοντίζουσα ακτινοβολία. Αυτό το είδος ακτινοβολίας διαθέτει μεγαλύτερο μήκος κύματος και συνήθως εκπέμπεται σε συχνότητες που μεταφέρουν σχετικά χαμηλή ενέργεια. Λόγω αυτού, είναι λιγότερο ενεργητική και δεν έχει τη δυνατότητα να προκαλέσει ιοντισμό στα άτομα, δηλαδή τη διάσπαση των χημικών δεσμών στα μόρια των κυττάρων. Αντίθετα, προκαλεί μόνο θερμικές επιδράσεις στα ιστούς και τα κύτταρα. Τα φωτόνια αυτών των ακτινοβολιών, λόγω της χαμηλής τους συχνότητας, δεν διαθέτουν την απαραίτητη ενέργεια για να αποσπάσουν μοριακούς δεσμούς. Πρόκειται για την ταλάντωση των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων που εξαπλώνεται στον χώρο ως κύμα, προκαλώντας αύξηση της θερμοκρασίας στην περιοχή όπου συγκρούονται. Οι αντιδράσεις υψηλού επιπέδου (θερμικές) οφείλονται σε μετρήσιμη αύξηση της θερμοκρασίας στους ιστούς που εκτίθενται στην ακτινοβολία, δηλαδή σε ενέργεια που υπερβαίνει τη θερμορυθμιστική ικανότητα του ανθρώπινου σώματος. Η απόπειρα εισβολής αυτών των ακτινοβολιών στο σώμα αντικατοπτρίζεται σε αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών, χωρίς να προκαλούν διασπάσεις. Η αύξηση της θερμοκρασίας είναι αντιληπτή κυρίως όταν η έκθεση σε ακτινοβολία είναι αρκετά έντονη. Στον οργανισμό προκαλούνται βλάβες από την αύξηση της θερμοκρασίας των ακτινοβολούμενων ιστών. Οι επιδράσεις χαμηλής ισχύος (μη θερμικές) προκαλούνται από χαμηλές πυκνότητες ισχύος της τάξης των λίγων μW/cm²), ώστε η θερμοκρασία των ιστών να παραμένει σταθερή. Παραδείγματα μη ιοντίζουσας ακτινοβολίας είναι τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία που προκύπτουν γύρω από τα ηλεκτροφόρα καλώδια (γραμμές μεταφοράς ρεύματος), τα ραδιοκύματα και τα μικροκύματα που εκπέμπονται από κεραίες επικοινωνιών, το ορατό φως, την υπεριώδη ακτινοβολία, και ένα μέρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας και διάφορες ηλεκτρικές συσκευές. [10],[11],[12],[13]

2.2.3 Ιοντίζουσα vs Μη Ιοντίζουσα ακτινοβολία

Οι επιδράσεις της μη ιονίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στον ανθρώπινο οργανισμό εμφανίζουν σημαντικές διαφορές από αυτές της ιονίζουσας, προκαλώντας ηλεκτρικές, θερμικές ή χημικές αντιδράσεις στα κύτταρα. Συγκεκριμένα, τα χαμηλόσυχνα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία προκαλούν την παραγωγή ρεύματος στο εσωτερικό του ανθρώπινου σώματος, ενώ τα υψηλόσυχνα ηλεκτρομαγνητικά πεδία (όπως τα ραδιοκύματα και τα μικροκύματα) προκαλούν θέρμανση στα κύτταρα και τους ιστούς. [10],[11],[12],[13]

2.3 Ηλεκτρομαγνητικά πεδία

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο είναι διαφορετικά φυσικά φαινόμενα, αλλά όπως προαναφέρθηκε σχετίζονται μεταξύ τους. Η διαφορά μεταξύ της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων είναι η εξής:

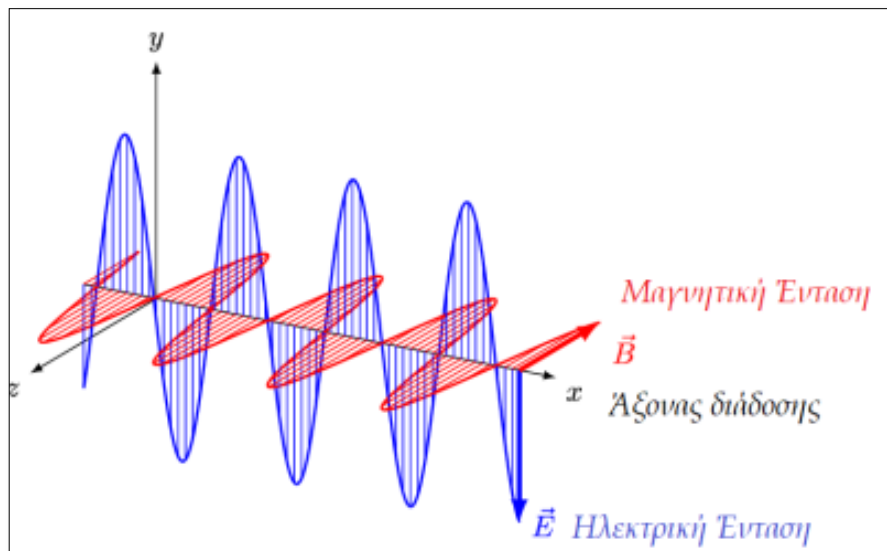
- Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι μια μορφή ενέργειας που μεταδίδεται μέσω του χώρου σε μορφή κύματος, χωρίς την ανάγκη ύπαρξης μέσου διάδοσης. Περιλαμβάνει τις ραδιοκυματικές, τις υπέρυθρες, το ορατό φως, τις υπεριώδεις, τις ακτίνες X και τις γάμα.
- Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία είναι οι περιοχές όπου εναλλάσσεται η ενέργεια μεταξύ των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων. Αυτά τα πεδία περιβάλλουν ηλεκτρικά φορτισμένα αντικείμενα και μαγνητικά υλικά και μπορούν να ασκούν δύναμη πάνω σε αυτά τα αντικείμενα. Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία περιγράφονται από τις εξισώσεις Maxwell.
- Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία παράγονται από φυσικές πηγές όπως ηλεκτρικά φορτισμένα αντικείμενα ή ρεύματα, ενώ η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι η ενέργεια που μεταφέρεται από αυτά τα πεδία σε μορφή κυμάτων και είναι το αποτέλεσμα της κίνησης των φορτίων.

Έτσι, η κύρια διαφορά είναι ότι τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία αναφέρονται στο πεδίο γύρω από φορτισμένα αντικείμενα, ενώ η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αφορά στη μεταφορά ενέργειας μέσω του χώρου σε μορφή κύματος.

Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι ότι αποτελείται από δύο βασικά στοιχεία: ένα ηλεκτρικό πεδίο και ένα μαγνητικό πεδίο. Αυτά τα δύο στοιχεία μπορούν να θεωρηθούν ως δύο ξεχωριστά αλλά συνδεδεμένα κύματα, τα οποία διαδίδονται με γωνία 90° μεταξύ τους. Αυτό σημαίνει ότι το ηλεκτρικό πεδίο και το μαγνητικό πεδίο συνδέονται αλληλένδετα καθώς το κύμα προχωρά μέσα στο χώρο. Καθώς η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία διαδίδεται, η μεταβολή του ηλεκτρικού πεδίου προκαλεί τη δημιουργία ενός μαγνητικού πεδίου, και η μεταβολή του μαγνητικού πεδίου προκαλεί τη δημιουργία ενός ηλεκτρικού πεδίου. Αυτή η αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο πεδίων είναι ουσιώδης για τη φύση και τις ιδιότητες της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. [4],[14]

2.3.1 Δημιουργία ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελείται από ένα κύμα, όπου το ηλεκτρικό πεδίο (E) και το μαγνητικό πεδίο (B) είναι οι δύο βασικές συνιστώσες. Αυτά τα δύο πεδία είναι κάθετα μεταξύ τους και παρουσιάζουν μία συνεχή σχέση, καθώς τα δύο πεδία φέρουν μέγιστη και ελάχιστη τιμή ταυτόχρονα. Αυτή η σχέση μπορεί να περιγραφεί μέσω γεωμετρικών ή αλγεβρικών μεθόδων, που αντιπροσωπεύουν τη σύνδεση μεταξύ των δύο πεδίων κατά τη διάδοση του κύματος.



Εικόνα 2 Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα και οι επιμέρους συνιστώσες του

2.3.2 Ηλεκτρικά πεδία

Τα ηλεκτρικά πεδία δημιουργούνται από διαφορές στην τάση, με το πεδίο να γίνεται ισχυρότερο όσο αυξάνεται η τάση. Αντίστοιχα, τα μαγνητικά πεδία προκύπτουν όταν ρέει ηλεκτρικό ρεύμα, με το πεδίο να ενισχύεται όσο αυξάνεται το ρεύμα. Ακόμα και όταν δεν ρέει ρεύμα, υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο. Όταν, όμως, ρέει ρεύμα, η δύναμη του μαγνητικού πεδίου θα αλλάζει ανάλογα με την κατανάλωση ενέργειας, ενώ η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου θα παραμένει σταθερή. Στα βασικά σωματίδια υπάρχουν τόσο αρνητικά όσο και θετικά φορτία, με τα θετικά φορτία συνήθως να προέρχονται από πρωτόνια και τα αρνητικά φορτία συνήθως από ηλεκτρόνια. Έτσι, τα αντικείμενα που έχουν θετικό φορτίο μπορεί να προκύπτουν είτε από περίσσεια θετικά φορτισμένων στοιχειωδών σωματιδίων, όπως ατομικούς πυρήνες ή θετικά ιόντα, είτε από έλλειμμα αρνητικά φορτισμένων σωματιδίων, όπως ηλεκτρόνια ή αρνητικά ιόντα. Ομοίως, το ίδιο ισχύει και για τα αντικείμενα που είναι αρνητικά φορτισμένα. Τα φορτισμένα αντικείμενα, που έχουν είτε περίσσεια είτε έλλειμμα σωματιδίων, συνήθως διαθέτουν μια σχετικά μικρή ποσότητα από τα αντίστοιχα σωματίδια, σε σύγκριση με τον συνολικό αριθμό των φορτίων που περιέχει το αντικείμενο. Τα φορτισμένα σωματίδια παράγουν ηλεκτρικά πεδία. [1],[4],[13],[15]

2.3.3 Μαγνητικά πεδία

Επειδή η ηλεκτρική δύναμη είναι αρκετά ισχυρή, ακόμη και μια μικρή περίσσεια ή έλλειμμα φορτίων αρκεί για τη δημιουργία ενός ισχυρού ηλεκτρικού πεδίου. Αυτό σημαίνει ότι ένα μικρό ποσοστό από τα συνολικά ηλεκτρικά φορτία σε ένα αντικείμενο επηρεάζει αποκλειστικά το ηλεκτρικό πεδίο και τη δύναμη που ασκείται από αυτό. Τα μαγνητικά πεδία που κυκλοφορούν προκύπτουν από την κίνηση των ηλεκτρικών φορτίων. Αν και ένα σώμα μπορεί να είναι ουδέτερο ως προς το συνολικό του φορτίο, μια σημαντική ποσότητα των ηλεκτρικά φορτισμένων σωματιδίων μπορεί να είναι σε κίνηση, δημιουργώντας ρεύματα και επομένως παράγοντας ένα

μαγνητικό πεδίο. Στην πράξη, οι μαγνητικές δυνάμεις είναι συχνά αισθητά ισχυρότερες από τις ηλεκτρικές δυνάμεις. Αυτό συμβαίνει διότι οι μαγνητικές αλληλεπιδράσεις μπορούν να δρουν απομακρυσμένα και να επηρεάζουν ευρύτερες περιοχές, ενώ οι ηλεκτρικές δυνάμεις απαιτούν την παρουσία μικρών φορτισμένων σωματιδίων για να εκδηλωθούν. Για παράδειγμα, σε ηλεκτροκινητήρες, γεννήτριες και άλλες παρόμοιες συσκευές, όλες οι δυνάμεις που χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία τους προέρχονται από μαγνητικές αλληλεπιδράσεις. [4],[13], [14]

2.4 Συνήθειες μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Οι μετρήσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας περιλαμβάνουν τη μέτρηση ποικίλων παραμέτρων που σχετίζονται με τη φύση, την ένταση και την επίδραση της ακτινοβολίας. Αυτές οι μετρήσεις είναι σημαντικές για την αξιολόγηση του επιπέδου ακτινοβολίας σε διάφορα περιβάλλοντα και την εκτίμηση των επιπτώσεών της στην υγεία και το περιβάλλον. Ορισμένες συνήθειες μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας περιλαμβάνουν [4],[10],[16]:

- **Συχνότητα:** Η μέτρηση της συχνότητας της ακτινοβολίας είναι σημαντική για την κατηγοριοποίηση της σε διαφορετικά εύρη μήκους κύματος, όπως το υπεριώδες, το ορατό φως ή τις ραδιοκυματικές. Αναφέρεται στον αριθμό των κυκλοφοριών του κύματος ανά δευτερόλεπτο. Μετράται σε Hertz (Hz).
- **Ένταση Πεδίου:** Η μέτρηση της έντασης του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου που προκαλείται από την ακτινοβολία είναι σημαντική για τον προσδιορισμό της επίπτωσής της σε ανθρώπους και περιβάλλον. Αναφέρεται στη δύναμη του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου που προκαλείται από την ακτινοβολία. Μετράται σε Volt/m ή Tesla (T).
- **Ισχύς:** Η μέτρηση της ισχύος της ακτινοβολίας βοηθά στον προσδιορισμό του επιπέδου ενέργειας που μεταφέρεται από την ακτινοβολία. Αναφέρεται στο ποσό ενέργειας που μεταφέρεται από την ακτινοβολία. Μετράται σε Watt (W) ή υποπολλαπλάσια αυτού (mW, μ W).
- **Πυκνότητα Ισχύος:** Η μέτρηση της πυκνότητας ισχύος δίνει πληροφορίες σχετικά με την ένταση της ακτινοβολίας σε συγκεκριμένες περιοχές του περιβάλλοντος. Αναφέρεται στο ποσό ενέργειας που μεταφέρεται από την ακτινοβολία σε μονάδα επιφάνειας. Μετράται σε Watt/m², mW/m², mW/cm² ή μ W/cm².
- **Δόση:** Η μέτρηση της δόσης ακτινοβολίας που λαμβάνει ένα άτομο ή μια συγκεκριμένη περιοχή βοηθά στον προσδιορισμό του επιπέδου εκθέσεως στην ακτινοβολία. Αναφέρεται στην ποσότητα ακτινοβολίας που λαμβάνει ένα άτομο ή μια περιοχή. Μετράται σε Gray (Gy) και σε Sievert (Sv). Ο Gray μετρά την ποσότητα της ακτινοβολίας που απορροφάται από το σώμα, ενώ ο Sievert λαμβάνει υπόψη την επίδραση της ακτινοβολίας στον οργανισμό και τις πιθανές επιπτώσεις στην υγεία. Έτσι, οι δύο μονάδες μέτρησης διαφέρουν στον τρόπο με τον οποίο λαμβάνουν υπόψη τους την ακτινοβολία και τις επιπτώσεις της στον ανθρώπινο οργανισμό.
- **Ειδική απορρόφηση ακτινοβολίας (Specific Absorption Rate - SAR):** είναι ένα σημαντικό μέτρο που χρησιμοποιείται για να μετρήσει το ποσοστό της ακτινοβολίας που απορροφάται

από το ανθρώπινο σώμα κατά τη χρήση ηλεκτρονικών συσκευών. Είναι μια σημαντική παράμετρος για την αξιολόγηση του επιπέδου εκθέσεως στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και των πιθανών επιπτώσεων στην υγεία. Το SAR μετριέται σε Watt ανά κιλό (W/kg). Οι όροι "Gray" και "Sievert" δεν σχετίζονται άμεσα με το Specific Absorption Rate (SAR). Ο όρος "SAR" αναφέρεται στον ρυθμό με τον οποίο η ενέργεια από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία απορροφάται από το ανθρώπινο σώμα κατά τη χρήση ασύρματων συσκευών.

Αυτές οι μετρήσεις είναι κρίσιμες για την προστασία της υγείας και του περιβάλλοντος από τις επιπτώσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

2.5 Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία γύρω μας

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προέρχεται από δύο είδη πηγών: φυσικές και τεχνητές.

Η κοσμική ακτινοβολία περιλαμβάνει σωματίδια όπως πρωτόνια, ηλεκτρόνια και ασταθείς ατομικούς πυρήνες, και αποτελεί μια από τις φυσικές πηγές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Τα σωματίδια αλληλεπιδρούν με τα ελεύθερα σωματίδια της ατμόσφαιρας της Γης, εκπέμποντας την ακτινοβολία τους προς την Γη. Τα καιρικά φαινόμενα, όπως οι βροχές, οι κεραυνοί και οι αστραπές, αποτελούν μια άλλη φυσική πηγή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Κατά τη διάρκεια αυτών των φαινομένων παράγεται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, η οποία εκπέμπεται στο περιβάλλον. Το μαγνητικό πεδίο της Γης είναι μία από τις πιο ευρέως γνωστές φυσικές πηγές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και προέρχεται από τη σύνθεση του εσωτερικού της πυρήνα, ο οποίος αποτελείται κυρίως από σίδηρο και νικέλιο, και από την περιστροφή της Γης. Η συνδυασμένη επίδραση αυτών των παραγόντων δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο, που λειτουργεί παρόμοια με το πεδίο που παράγεται από ένα μαγνήτη.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προκαλείται από ανθρώπινες δραστηριότητες αποτελεί τη μεγαλύτερη πηγή τεχνητής ακτινοβολίας. Το ηλεκτρικό ρεύμα αποτελεί σημαντικό παράγοντα στη δημιουργία ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, καθώς συσχετίζεται ιδιαίτερα με κύματα χαμηλών συχνοτήτων. Πολλές οικιακές ηλεκτρικές συσκευές, όπως οι υπολογιστές, τα κινητά τηλέφωνα και οι τηλεοράσεις, αποτελούν πηγές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε χαμηλές συχνότητες. Επιπλέον, άλλες τεχνητές πηγές αποτελούν διάφορου είδους κεραίες χρησιμοποιούμενες για τηλεπικοινωνιακούς σκοπούς, ραδιοφωνικούς και τηλεοπτικούς σταθμούς, καθώς και ραντάρ.

Πράγματι, σε αυτήν την εποχή η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι παρούσα συνεχώς γύρω μας, εξαιτίας της ευρείας χρήσης ηλεκτρικών συσκευών και επικοινωνιακών τεχνολογιών. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, που περιλαμβάνει τα φωτόνια με διάφορες συχνότητες και ενέργειες, είναι παρούσα σε κάθε βήμα μας στον σύγχρονο κόσμο. Τα μάτια μας μπορούν να ανιχνεύουν μόνο ένα μικρό τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, και αυτό είναι το ορατό φάσμα. Μπορούμε όμως να χρησιμοποιήσουμε κατάλληλα όργανα μέτρησης για να αξιολογήσουμε την ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και να τη συγκρίνουμε με τα διεθνή πρότυπα ασφαλείας (αναφέρονται παρακάτω), προκειμένου να κρίνουμε εάν υπάρχει κίνδυνος για την υγεία μας. Το θέμα είναι σημαντικό εξαιτίας της συνεχούς ανάπτυξης της τεχνολογίας και της αυξημένης χρήσης ηλεκτρικών συσκευών και ασύρματων τεχνολογιών.

2.6 Έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία

Η φύση του ανθρώπου έχει προσαρμοστεί στο στατικό μαγνητικό πεδίο της Γης, και δεν έχουν επιβεβαιωθεί αρνητικές επιπτώσεις από αυτό, παρόλο που συχνά έρχεται σε επαφή με τον άνθρωπο. Τα πεδία με διαφορετικές συχνότητες αντιδρούν με διαφορετικούς τρόπους στο σώμα, ανάλογα με τη συχνότητά τους. Τα ηλεκτρικά πεδία και τα μαγνητικά πεδία παρατηρούνται σε όλες τις συσκευές και τις εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν ηλεκτρικό ρεύμα. Η ενέργεια που παράγεται ενδέχεται να απορροφηθεί από τον οργανισμό, με αποτέλεσμα να επηρεάζει αρνητικά την υγεία του ανθρώπου. Η έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία δεν είναι ένα φαινόμενο που εμφανίστηκε πρόσφατα. Η αύξηση της έκθεσης σε τεχνητά ηλεκτρομαγνητικά πεδία είναι δεδομένη. Αυτό οφείλεται στην αυξημένη ανάγκη για ηλεκτρική ενέργεια, στη συνεχή πρόοδο της τεχνολογίας και στις μεταβολές των κοινωνικών συνηθειών. Αυτοί οι παράγοντες προκαλούν την εμφάνιση ολοένα και περισσότερων πηγών τεχνητών πεδίων εκπομπής. Η έκθεση σε διάφορες ασθενείς ηλεκτρικές και μαγνητικές πηγές, είτε στο σπίτι είτε στον χώρο εργασίας, δημιουργεί μια περίπλοκη κατάσταση. Βιολογικές διαδικασίες δημιουργούν ροές ηλεκτρικών φορτίων εντός του ανθρώπινου σώματος, ακόμα και χωρίς την επίδραση ηλεκτρικών πεδίων που προέρχονται έξω από το σώμα.[1]

2.6.1 Βιολογικές επιδράσεις στον ανθρώπινο οργανισμό

Η επίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο ανθρώπινο σώμα μπορεί να είναι πολύπλοκη όπως προαναφέρθηκε και να εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της έντασης, της συχνότητας και της διάρκειας της έκθεσης και να επηρεάζουν διάφορες πτυχές της υγείας.

Τα ηλεκτρικά χαμηλόσυχνα πεδία επηρεάζουν τον ανθρώπινο οργανισμό με τον ίδιο τρόπο που επηρεάζουν οποιοδήποτε υλικό που έχει φορτισμένα σωματίδια. Ηλεκτρικά πεδία που επηρεάζουν αγωγίμα υλικά έχουν την τάση να αλλάζουν τον τρόπο με τον οποίο διανέμονται τα ηλεκτρικά φορτία στην επιφάνειά τους και προκαλούν τη ροή ρεύματος μέσω του σώματος προς το έδαφος.

Τα χαμηλής συχνότητας μαγνητικά πεδία προκαλούν την δημιουργία ρευμάτων κυκλοφορίας εντός του ανθρώπινου σώματος. Η ένταση αυτών των ρευμάτων εξαρτάται από την ένταση του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου και αν είναι αρκετά υψηλή, θα μπορούσε να προκληθεί διέγερση των μυών και των νεύρων αλλά και επίδραση σε άλλες βιολογικές διεργασίες.

Τόσο το ηλεκτρικό όσο και το μαγνητικό πεδίο προκαλούν τάσεις και ρεύματα στο σώμα. Ακόμη κάτω από μια γραμμή μεταφοράς υψηλής τάσης, τα παρεχόμενα ρεύματα είναι σημαντικά χαμηλότερα από τα κατώφλια που θα μπορούσαν να προκαλέσουν σοκ ή άλλες αρνητικές ηλεκτρικές επιδράσεις.

Η θέρμανση είναι η κυρίαρχη επίδραση των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στις ραδιοσυχνότητες. Τα επίπεδα των πεδίων αυτών στα οποία συνήθως εκτίθενται οι άνθρωποι είναι πολύ χαμηλότερα από αυτά που απαιτούνται για την παραγωγή σημαντικής θέρμανσης. Αυτή η θερμική επίδραση αποτελεί τη βασική αρχή των τρεχουσών κατευθυντήριων οδηγιών. Οι

επιστήμονες εξετάζουν επίσης την πιθανότητα παρουσίας επιπτώσεων κάτω από τα επίπεδα ορίων, λόγω μακροχρόνιας έκθεσης.

Οι ιονίζουσες ακτινοβολίες θεωρούνται επικίνδυνες λόγω της μεγαλύτερης ενέργειας που μεταφέρουν φυσικά, οπότε έχουν διερευνηθεί εκτενώς κατά τη διάρκεια του χρόνου. Οι επιπτώσεις τους στον οργανισμό, καθώς και οι μηχανισμοί άμυνας του οργανισμού έχουν μελετηθεί λεπτομερώς. Από την άλλη πλευρά, οι μη-ιονίζουσες ακτινοβολίες προκαλούν κυρίως θερμικές επιδράσεις.

Τα τελευταία χρόνια, αυξάνεται η ανησυχία σχετικά με την επίδραση της ακτινοβολίας στους ζωντανούς οργανισμούς. Αυτό έχει οδηγήσει σε μεγαλύτερη ενασχόληση από την επιστημονική κοινότητα, με σκοπό την τήρηση των θεσμοθετημένων ορίων σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία. [17]

2.6.2 Λόγος έκθεσης και Συνολικός λόγος έκθεσης

Όταν αναφερόμαστε στην έκθεση του ανθρώπου στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία κυρίως μας ενδιαφέρει ο Λόγος έκθεσης και ο Συνολικός λόγος έκθεσης. [18],[19]. Ακολουθούν οι ορισμοί τους και ο τρόπος που υπολογίζονται:

Λόγος Έκθεσης (ΛΕ)

Είναι ένας καθαρός αριθμός που χρησιμοποιείται για να σταθμιστεί η επιβάρυνση στην έκθεση του κοινού από διάταξη/διατάξεις που λειτουργούν σε μία σχετικά στενή περιοχή συχνοτήτων (π.χ. στην συχνότητα εκπομπής μιας συγκεκριμένης κεραίας ή στην φασματική περιοχή που χρησιμοποιείται από μια συγκεκριμένη υπηρεσία) σε μία συγκεκριμένη θέση. Ανάλογα με το αν εξετάζονται ηλεκτροδιεγερτικές ή θερμικές επιδράσεις και με το αν εξετάζονται ξεχωριστά οι επιδράσεις του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου (για συχνότητες μικρότερες από 10MHz ή σε συνθήκες κοντινού αντιδραστικού πεδίου) και το αν εξετάζεται έκθεση σε παλμικά διαμορφωμένα πεδία, υφίστανται περισσότεροι από ένας λόγοι έκθεσης που υπολογίζονται με διαφορετικό τρόπο [20].

Για συχνότητες μεγαλύτερες των 10 MHz και μικρότερες από 10 GHz και για μετρήσεις στο μακρινό ή στο κοντινό ακτινοβολούν πεδίο της κεραίας και για συχνότητα και θέση μέτρησης, ο λόγος έκθεσης λ υπολογίζεται από το λόγο της μέσης τιμής του τετραγώνου της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ή της έντασης του μαγνητικού πεδίου προς τα αντίστοιχα επίπεδα αναφοράς στο τετράγωνο ή της μέσης τιμής της ισοδύναμης πυκνότητας ισχύος προς το αντίστοιχο επίπεδο αναφοράς:

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

Για μετρήσεις στις ανωτέρω συχνότητες στο κοντινό αντιδραστικό πεδίο της κεραίας υπάρχει διαφοροποίηση του λόγου έκθεσης σε λόγο έκθεσης λ_E και λ_H , βάσει των μετρήσεων του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου ξεχωριστά, δηλαδή αντίστοιχα:

$$\lambda_E = \frac{E^2}{L_E^2} \quad \lambda_H = \frac{H^2}{L_H^2}$$

Για συχνότητες μικρότερες από 10 MHz, οι επιδράσεις του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου εξετάζονται ξεχωριστά και πρέπει να υπολογιστούν και οι λ'_E και λ'_H που ορίζονται ως:

$$\lambda'_E = \frac{E}{L'_E} \quad \lambda'_H = \frac{H}{L'_H}$$

Όπου L'_E , L'_H τα επίπεδα αναφοράς της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου E και της έντασης του μαγνητικού πεδίου H , αντίστοιχα, για τις ηλεκτροδιεγερτικές επιδράσεις.

Για συχνότητες μεγαλύτερες από 10GHz και για κάθε συχνότητα και θέση μέτρησης, βρίσκονται οι μέσες τιμές του τετραγώνου της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου σε επιφάνειες 20cm^2 στο σώμα ενός υποτιθέμενου εκτεθειμένου ανθρώπου στη θέση μέτρησης. Η μέγιστη τιμή αυτών χρησιμοποιείται στη συνέχεια για τον υπολογισμό του λόγου της έκθεσης, που είναι ίσος με την τιμή αυτή προς το αντίστοιχο όριο στο τετράγωνο.

Για μετρήσεις παλμικά διαμορφωμένων πεδίων π.χ. στο περιβάλλον κεραιών radar υπολογίζεται επίσης ο λόγος έκθεσης κατά την διάρκεια του παλμού λ_p , που υπολογίζεται από τον λόγο της μέσης τιμής του τετραγώνου της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ή της έντασης του μαγνητικού πεδίου κατά την διάρκεια του παλμού προς τα αντίστοιχα επίπεδα αναφοράς στο τετράγωνο ή της μέσης τιμής της ισοδύναμης πυκνότητας ισχύος κατά την διάρκεια του παλμού προς το αντίστοιχο επίπεδο αναφοράς: [19]

$$\lambda_p = \frac{E_p^2}{(32L_E)^2} = \frac{H_p^2}{(32L_H)^2} = \frac{S_p}{1000L_S}$$

Συνολικός Λόγος Έκθεσης (ΣΛΕ)

Είναι το άθροισμα των σχετικών λόγων έκθεσης που προκύπτουν για το ίδιο φυσικό μέγεθος (ηλεκτρικό ή μαγνητικό πεδίο) και την ίδια επίδραση (ηλεκτροδιεγερτική ή θερμική) σε μία θέση μέτρησης μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Ο συνολικός λόγος έκθεσης χρησιμοποιείται στον παρόντα κανονισμό για να εκτιμηθεί κατά πόσον υπερβαίνονται τα επίπεδα αναφοράς για την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία [18].

Σε περίπτωση πολλών συχνοτήτων υπολογίζεται ο συνολικός λόγος έκθεσης Λ ίσος με το άθροισμα των ομοειδών λόγων έκθεσης που υπολογίστηκε για κάθε συχνότητα. Εάν υπάρχει διαφοροποίηση υπολογίζεται ένας συνολικός λόγος έκθεσης για το ηλεκτρικό πεδίο και ένας συνολικός λόγος έκθεσης για το μαγνητικό πεδίο. Επίσης στην περίπτωση παλμικά διαμορφωμένων πεδίων υπολογίζεται και ο συνολικός λόγος έκθεσης κατά την διάρκεια του παλμού. Σε περίπτωση εκπομπής σε μία μόνο συχνότητα ο συνολικός λόγος

έκθεσης θεωρείται ίσος με τον λόγο έκθεσης στη συχνότητα αυτή. **Error! Reference source not found.**

Για τη σύγκριση των τιμών με τα όρια υπολογίζεται για κάθε θέση μέτρησης ο Συνολικός Λόγος Έκθεσης Λ ορίζεται, ως το άθροισμα των Λόγων Έκθεσης λ_f στη φασματική περιοχή f [19]:

$$\Lambda = \sum_f \lambda_f$$

Η σύγκριση όλων των συνολικών λόγων έκθεσης με την μονάδα, ή επειδή οι λόγοι έκθεσης εκφράζονται ως ποσοστό επί τοις εκατό (%), με το 100%, αποτελεί και τον καθοριστικό παράγοντα σύγκρισης των επιπέδων έκθεσης με τα επιτρεπτά όρια [19].

Συνοψίζοντας, Ο όρος "λόγος έκθεσης" αναφέρεται σε έναν αριθμητικό δείκτη που χρησιμοποιείται για να περιγράψει το επίπεδο ή την ένταση της έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία σε συγκεκριμένες συνθήκες. Από την άλλη, ο συνολικός λόγος έκθεσης λαμβάνει υπόψη τη συνεισφορά όλων των πηγών ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε μια συγκεκριμένη θέση και χρονική στιγμή. Αυτός ο λόγος περιλαμβάνει τη συνολική έκθεση από όλες τις πηγές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και μπορεί να ληφθεί υπόψη κατά την αξιολόγηση του κινδύνου για την υγεία από αυτήν την ακτινοβολία. Έτσι, ο συνολικός λόγος έκθεσης παρέχει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία σε μια δεδομένη θέση και χρονική στιγμή από ό,τι ο απλός λόγος έκθεσης. [20]

Δεν αμφισβητείται ότι η ιονίζουσα ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει βιολογικές επιδράσεις. Οι εκθέσεις σε υψηλότερα επίπεδα που μπορεί να είναι επιβλαβή περιορίζονται από εθνικές και διεθνείς κατευθυντήριες οδηγίες όπως αυτές περιγράφονται παρακάτω. [21]

Στην παρούσα διπλωματική η έκθεση αποτελεσμάτων μετρήσεων που συντάσσεται από το νέο λογισμικό αφορά μετρήσεις μη-ιονίζουσας ακτινοβολίας καθώς το ΕΣΥΕ ασχολείται με την μη-ιονίζουσα ακτινοβολία.

2.7 Νόμοι, Διατάξεις, Κανονισμοί, Πρότυπα και έλεγχος

2.7.1 Διεθνής Επιτροπή για την Προστασία από τις Μη - Ιονίζουσες ακτινοβολίες (ICNIRP)

Η αύξηση του ενδιαφέροντος από την επιστημονική κοινότητα και τις κυβερνήσεις σχετικά με την έκθεση στην ηλεκτρονική ακτινοβολία και τις επιδράσεις της στον ανθρώπινο οργανισμό και το περιβάλλον έχει οδηγήσει στη λήψη προληπτικών μέτρων. Κυρίως, έχουν θεσπιστεί ανώτατα όρια έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες για διάφορες ομάδες πληθυσμού, τόσο σε εργασιακό περιβάλλον όσο και για την καθημερινή έκθεση στον ελεύθερο χρόνο. Η Διεθνής Επιτροπή για την Προστασία από τις Μη-Ιονίζουσες Ακτινοβολίες (ICNIRP) αναδεικνύεται ως κύριος παίκτης στην προσπάθεια για προστασία από ακτινοβολία. Το 1977, ιδρύθηκε η Διεθνής Επιτροπή για Μη-Ιονίζουσες Ακτινοβολίες (INIRC), η οποία έπειτα μετονομάστηκε σε ICNIRP το 1992. Η ICNIRP αποβλέπει στην προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος από τις

επιβλαβείς επιπτώσεις της Μη-Ιονίζουσας Ακτινοβολίας. Για να επιτύχει αυτόν τον στόχο, συνεργάζεται με ειδικούς από διάφορες χώρες και ειδικότητες. Η ICNIRP, είναι μια μη κυβερνητική οργάνωση που έχει λάβει επίσημη αναγνώριση από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ), προσεγγίζει επιστημονικά δεδομένα από διάφορες περιοχές του κόσμου. Μετά από λεπτομερή ανασκόπηση της βιβλιογραφίας και των επιστημονικών ερευνών, η ICNIRP εκδίδει οδηγίες που θέτουν όρια έκθεσης και συστάσεις για τον περιορισμό της έκθεσης στην ακτινοβολία. Αυτές οι οδηγίες υποβάλλονται σε περιοδική αναθεώρηση και προσαρμόζονται ανάλογα με την ανάγκη. [7]

Τα κράτη θεσπίζουν τα δικά τους εθνικά πρότυπα για την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Παρόλα αυτά, η πλειονότητα αυτών των εθνικών προτύπων βασίζεται στις κατευθυντήριες γραμμές που καθορίζονται από τη Διεθνή Επιτροπή για την Προστασία από τις Μη Ιονίζουσες Ακτινοβολίες (ICNIRP).

Το Παγκόσμιο Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ) ξεκίνησε πρόσφατα μια πρωτοβουλία με στόχο την εναρμόνιση των κατευθυντήριων οδηγιών και των ορίων για την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία σε παγκόσμιο επίπεδο. Τα μελλοντικά πρότυπα θα βασίζονται στα αποτελέσματα του Διεθνούς Έργου Ηλεκτρομαγνητικού Πεδίου του ΠΟΥ. [22]

Ένα σημαντικό σημείο που πρέπει να επισημανθεί είναι ότι τα κατευθυντήρια όρια δεν αποτελούν ακριβείς διαχωριστικές γραμμές μεταξύ ασφάλειας και κινδύνου. Δεν υπάρχει ένα συγκεκριμένο επίπεδο πέραν του οποίου η έκθεση γίνεται ανησυχητική για την υγεία. Αντίθετα, ο πιθανός κίνδυνος για την ανθρώπινη υγεία αυξάνεται σταδιακά με την αύξηση της έκθεσης. Τα κατευθυντήρια όρια δείχνουν ότι κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο, η έκθεση στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο είναι ασφαλής σύμφωνα με τις επιστημονικές γνώσεις. Ωστόσο, δεν σημαίνει απαραίτητα ότι πέραν του ορίου αυτού η έκθεση είναι επιβλαβής.

Ωστόσο, για να τεθούν όρια στην έκθεση, οι επιστημονικές μελέτες πρέπει να εντοπίσουν το επίπεδο κατωφλίου στο οποίο εμφανίζονται οι πρώτες αντιληπτές αλλαγές στην υγεία. Δεδομένου ότι οι άνθρωποι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πειράματα, τα κατευθυντήρια όρια βασίζονται σημαντικά σε μελέτες σε ζώα. Η μη φυσιολογική συμπεριφορά θεωρείται ένας πολύ ευαίσθητος δείκτης μιας βιολογικής αντίδρασης και έχει επιλεγεί ως η χαμηλότερη παρατηρήσιμη δυσμενής επίδραση στην υγεία. Οι μη αντιληπτές μεταβολές στη συμπεριφορά των ζώων σε χαμηλά επίπεδα συχνά προηγούνται των πιο εμφανών αλλαγών στην υγεία σε πιο υψηλά επίπεδα. Η μη φυσιολογική συμπεριφορά θεωρείται ένας πολύ ευαίσθητος δείκτης μιας βιολογικής αντίδρασης και έχει επιλεγεί ως η χαμηλότερη παρατηρήσιμη αρνητική επίδραση στην υγεία. Οι κατευθυντήριες οδηγίες προτείνουν τον περιορισμό των επιπέδων έκθεσης στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, στα οποία παρατηρούνται αυτές οι ανεπαίσθητες αλλαγές συμπεριφοράς. Το όριο συμπεριφοράς δεν είναι ισοδύναμο με το κατευθυντήριο όριο. Η ICNIRP χρησιμοποιεί έναν παράγοντα ασφαλείας 10 για την καθορισμό των ορίων επαγγελματικής έκθεσης και έναν παράγοντα 50 για την καθορισμό των κατευθυντήριων τιμών για το ευρύ κοινό. Συνεπώς, στο εύρος συχνοτήτων ραδιοσυχνοτήτων και μικροκυμάτων, τα μέγιστα επίπεδα που μπορεί να αντιμετωπίσετε στο περιβάλλον σας είναι τουλάχιστον 50 φορές χαμηλότερα από το επίπεδο κατωφλίου στο οποίο εμφανίζονται οι πρώτες αντιληπτές αλλαγές συμπεριφοράς στα ζώα. [7] Η ICNIRP έχει θεσπίσει ορισμένους βασικούς περιορισμούς για την έκθεση των ανθρώπων σε μη ιονίζουσες ακτινοβολίες οι οποίοι περιλαμβάνουν [23],[24]:

1. Βασικά Όρια Έκθεσης: Η ICNIRP καθορίζει τα μέγιστα επιτρεπόμενα επίπεδα έκθεσης σε διάφορα εύρη συχνοτήτων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, όπως αυτά που παράγονται από κινητά τηλέφωνα, ασύρματα δίκτυα και άλλες πηγές.
2. Κατευθυντήριες Τιμές: Η ICNIRP παρέχει κατευθυντήριες τιμές για τη μέτρηση και την αξιολόγηση της έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία, προκειμένου να διασφαλίσει την προστασία της υγείας.
3. Προφυλάξεις: Η ICNIRP προτείνει μέτρα προφύλαξης και περιορισμού της έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία, ειδικά για ευπαθείς ομάδες, όπως παιδιά και έγκυες γυναίκες.

Οι περιορισμοί αυτοί είναι σχεδιασμένοι για να προστατεύουν τη δημόσια υγεία και να διασφαλίσουν ότι οι άνθρωποι εκτίθενται σε ασφαλή επίπεδα ηλεκτρομαγνητικών πεδίων.

2.7.2 Βασικοί Περιορισμοί

Σημαντικοί βασικοί περιορισμοί απορρέουν από τους περιορισμούς έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία, οι οποίοι βασίζονται απευθείας σε επιστημονικές αποδείξεις για τις επιπτώσεις στην υγεία, καθώς και σε βιολογικές μελέτες [23],[24]:

- Για συχνότητες από 0 έως 1 Hz, υπάρχουν περιορισμοί που ισχύουν για τη μαγνητική επαγωγή σε στατικά μαγνητικά πεδία (0 Hz) και για την πυκνότητα ρεύματος σε χρονικά μεταβαλλόμενα πεδία έως 1 Hz. Αυτοί οι περιορισμοί θεσπίζονται για την προστασία της υγείας, ειδικά του καρδιαγγειακού και του κεντρικού νευρικού συστήματος, από τυχόν επιβλαβείς επιπτώσεις.
- Για συχνότητες από 1Hz έως 10 MHz προβλέπονται βασικοί περιορισμοί για την πυκνότητα ρεύματος, για την πρόληψη επιπτώσεων σε λειτουργίες του νευρικού συστήματος
- Για συχνότητες από 10 MHz έως 10 GHz, ορίζονται σημαντικοί περιορισμοί για τον Ειδικό Βαθμό Απορρόφησης (SAR). Ο στόχος είναι να προληφθεί η θερμοπληξία σε ολόκληρο το σώμα και η υπερβολική τοπική θέρμανση των ιστών.
- Για συχνότητες από 10 GHz έως 300 GHz, ισχύουν ορισμένοι βασικοί περιορισμοί στην πυκνότητα ισχύος, με στόχο την πρόληψη της θέρμανσης των ιστών είτε στην επιφάνεια του σώματος είτε κοντά σε αυτήν.

Περιοχή συχνοτήτων	Μαγνητική Επαγωγή (mT)	Πυκνότητα ρεύματος (mA/m ²) (rms)	Ολόσωμο SAR (W/kg)	Τοπικό SAR (κεφάλι & κορμός) (W/kg)	Τοπικό SAR (άκρα) (W/kg)	Πυκνότητα ισχύος, S (W/m ²)
0 Hz	40	-	-	-	-	-
>0-1 Hz	-	8	-	-	-	-
1-4 Hz	-	8/f	-	-	-	-
4-1000 Hz	-	2	-	-	-	-
1000 Hz – 100 kHz	-	f/500	-	-	-	-
100 kHz – 10 MHz	-	f/500	0,08	2	4	-
10 MHz – 10 GHz	-	-	0,08	2	4	-
10 – 300 GHz	-	-	-	-	-	10

Πίνακας 1. Βασικοί περιορισμοί για ηλεκτρικά, μαγνητικά & ηλεκτρομαγνητικά πεδία (0 Hz - 300 GHz), Σημείωση: f είναι η συχνότητα σε Hz

2.7.3 Επίπεδα αναφοράς

Τα επίπεδα αναφοράς χρησιμοποιούνται για να αξιολογηθεί πρακτικά η έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία, με σκοπό να ελεγχθεί αν υπάρχει υπέρβαση των βασικών περιορισμών για την ασφαλή έκθεση του κοινού σε αυτά τα πεδία. Ορισμένα από αυτά τα επίπεδα αναφοράς προέρχονται από τους αντίστοιχους βασικούς περιορισμούς, ενώ άλλα περιλαμβάνουν την κρίσιμη αντίληψη και τις δυσμενείς έμμεσες επιπτώσεις της έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία:

- Βασίζονται σε όλες τις επιστημονικά αποδεδειγμένες βιολογικές επιδράσεις που έχουν καταγραφεί έως σήμερα, και έχουν οριστεί με σημαντικούς συντελεστές ασφαλείας, που είναι συνήθως μεγέθους περίπου 50
- Οι προδιαγραφές λαμβάνουν υπόψη τις αβεβαιότητες που παρουσιάζονται σχετικά με την ευαισθησία του ατόμου, τις συνθήκες του περιβάλλοντος, τις ηλικιακές διαφορές και την υγεία του κοινού.

Επιπλέον, τα επίπεδα αναφοράς λαμβάνουν υπόψη συνθήκες μέγιστης σύζευξης του πεδίου με το άτομο που εκτίθεται σε αυτό, εξασφαλίζοντας έτσι το υψηλότερο δυνατό επίπεδο προστασίας. [10]

Περιοχή συχνοτήτων	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου (V/m)	Ένταση Μαγνητικού Πεδίου (A/m)	Μαγνητική Επαγωγή (μ T)	Ισοδύναμη Πυκνότητα ισχύος επίπεδου κύματος S_{eq} (W/m ²)
0-1 Hz	-	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	-
1-8 Hz	10000	$3,2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	-
8-25 Hz	10000	$4000 / f$	$5000 / f$	-
0.025-0.8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	-
0.8-3 kHz	$250 / f$	5	6.25	-
3-150 kHz	87	5	6.25	-
0,15 – 1 MHz	87	$0,73 / f$	$0,92 / f$	-
1 – 10 MHz	$87 / f^{1/2}$	$0,73 / f$	$0,92 / f$	-
10 – 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 – 2000 MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$	$f / 200$
2 – 300 GHz	61	0,16	0,20	10

Πίνακας 2. Επίπεδα αναφοράς για ηλεκτρικά, μαγνητικά & ηλεκτρομαγνητικά πεδία (0 Hz - 300 GHz). Σημείωση: f είναι η συχνότητα στις μονάδες που εμφανίζονται στη στήλη της περιοχής συχνοτήτων.

Η συμμόρφωση με το επίπεδο αναφοράς σημαίνει ότι είναι πιθανό να συμμορφώνεται και με τον αντίστοιχο βασικό περιορισμό. Ωστόσο, εάν η μετρούμενη τιμή υπερβαίνει το επίπεδο αναφοράς, δεν σημαίνει απαραίτητα ότι υπάρχει και υπέρβαση του βασικού περιορισμού. Σε κάθε περίπτωση, ωστόσο, είναι απαραίτητο να ελέγχεται εάν συμμορφώνεται ή όχι η μετρούμενη τιμή με τον βασικό περιορισμό για τη συγκεκριμένη περίπτωση.

2.7.4 Ελληνικό Θεσμικό Πλαίσιο για τα Ηλεκτρομαγνητικά πεδία

Η πλειονότητα των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας, ακολουθεί τις συστάσεις της ICNIRP με οδηγίες της ΕΕ 2013/35/ΕΕ, οι οποίες ορίζουν

συνιστώμενες μέγιστες τιμές. Η Ελλάδα ακολουθεί τις προαναφερθείσες συστάσεις μέσω της ενσωμάτωσής τους στους κανονισμούς που έχει θεσπίσει η ΕΛΟΤ.**Error! Reference source not found.,[25],[27]**



Εικόνα 3 Κατευθυντήριες Οδηγίες

Για τον Γενικό Πληθυσμό **Error! Reference source not found.,[27],[28]:**

- Σύσταση του Συμβουλίου της Ε.Ε.: "Σχετικά με τον περιορισμό της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία (0 Hz - 300 GHz)", δημοσιεύτηκε στην Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων με αριθμό L 199 (1999/519/EC) στις 30 Ιουλίου 1999. Η σύσταση βασίζεται στις κατευθυντήριες γραμμές του ICNIRP. Επιπλέον, η φυσιολογική αντίδραση εξαρτάται από τη συχνότητα και την ισχύ του μαγνητικού πεδίου, πράγμα που αντικατοπτρίζεται σε διαφορετικές τιμές αναφοράς σε διαφορετικές συχνότητες σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO 1999).
- Η Κοινή Υπουργική Απόφαση με αριθμό 53571/3839, με τίτλο "Μέτρα προφύλαξης του κοινού από τη λειτουργία κεραιών εγκατεστημένων στην ξηρά", δημοσιεύτηκε στο Φύλλο Εφημερίδας της Κυβερνήσεως με αριθμό 1105/Β/6-9-2000. Αυτή η απόφαση υιοθέτησε το 80% των τιμών που ορίζονται στη Σύσταση του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
- Ο Νόμος 4070/2012, ο οποίος αντικατέστησε τον Νόμο 3431/2006, εισήγαγε την υιοθέτηση του 70% ή του 60% των τιμών που ορίζονται στη Σύσταση του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
 - Οι χαμηλότεροι περιορισμοί που καθορίστηκαν είναι το 70% των τιμών που ισχύουν γενικά στην Ευρωπαϊκή Ένωση και το 60% των τιμών της ΕΕ για τις περιοχές που βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη των 300 μέτρων από την περίμετρο κτιρίων όπως σχολεία, γηροκομεία, νοσοκομεία, και βρεφονηπιακοί σταθμοί.
- Η Κοινή Υπουργική Απόφαση με αριθμό 3060(ΦΟΡ)238, με τίτλο "Μέτρα προφύλαξης του κοινού από τη λειτουργία διατάξεων εκπομπής ηλεκτρομαγνητικών πεδίων χαμηλών

συχνοτήτων", δημοσιεύτηκε στο Φύλλο Εφημερίδας της Κυβερνήσεως με αριθμό 512/Β/25-4-2002. Αυτή η απόφαση υιοθέτησε το 100% των επιπέδων αναφοράς που καθορίζονται στη Σύσταση της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Φυσικό Μέγεθος	Όρια ΕΕ (W/kg)	Ελληνικά όρια	
		70% ορίων ΕΕ (W/kg)	60% ορίων ΕΕ (W/kg)
Μέσος ρυθμός ειδικής απορρόφησης (SAR) ολόκληρου του σώματος	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

Πίνακας 3 Βασικοί Περιορισμοί Έκθεσης 100kHz – 10 GHz

Ζώνη Συχνοτήτων	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου, E (V/m)	Ένταση μαγνητικού πεδίου, H (A/m)	Μαγνητική επαγωγή πεδίου, B (μΤ)	Ισοδύναμη πυκνότητα ισχύος, S_{eq} (W/m ²)
100kHz - 10 MHz	$72,8 / \sqrt{f}$	$0,61 / f$	$0,77 / f$	
10 - 400 MHz	23,4	0,061	0,077	1,4
400 - 2000 MHz	$1,15 \cdot \sqrt{f}$	$0,0031 \cdot \sqrt{f}$	$0,0038 \cdot \sqrt{f}$	$f / 286$
2 - 300 GHz	51	0,134	0,167	7

Ζώνη Συχνοτήτων	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου, E (V/m)	Ένταση μαγνητικού πεδίου, H (A/m)	Μαγνητική επαγωγή πεδίου, B (μΤ)	Ισοδύναμη πυκνότητα ισχύος, S_{eq} (W/m ²)
100kHz - 10 MHz	$67,3 / \sqrt{f}$	$0,565 / f$	$0,71 / f$	
10 - 400 MHz	21,7	0,0565	0,071	1,2
400 - 2000 MHz	$1,065 \cdot \sqrt{f}$	$0,00287 \cdot \sqrt{f}$	$0,00356 \cdot \sqrt{f}$	$f / 333$
2 - 300 GHz	47,2	0,124	0,155	6

Πίνακας 4 Επίπεδα αναφοράς στην περιοχή συχνοτήτων 100 kHz – 300 GHz, όπως προκύπτουν μετά την εφαρμογή των συντελεστών μείωσης 70% ή 60% (αναφέρονται σε ευαίσθητες περιοχές όπως σχολεία, νοσοκομεία, δημόσια κτίρια) στους βασικούς περιορισμούς. Σημείωση: f είναι η συχνότητα σε μονάδες MHz που αναγράφεται στη στήλη της ζώνης συχνοτήτων στην εκάστοτε γραμμή του πίνακα.

3

Μετρικός Εξοπλισμός

3.1 Επιλεκτικός μετρητής ακτινοβολίας SRM-3006

Για την υλοποίηση της εφαρμογής σε αυτή τη Διπλωματική Εργασία χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εσόδου εκτός από υπολογιστικά φύλλα (αρχεία τύπου excel) και αρχεία τύπου csv που περιείχαν δεδομένα από διεξαγωγή μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν με το όργανο μέτρησης SRM-3006 (Selective Radiation Meter), της κατασκευάστριας εταιρίας Narda Safety Test Solutions. Η Narda διαχειρίζεται ένα διαπιστευμένο εργαστήριο βαθμονόμησης που είναι διαπιστευμένο σύμφωνα με το DIN EN ISO/IEC 17025:2005 από την DAkkS. Αυτό το μετρητικό όργανο έχει πλήρη διαπίστευση και συνοδεύεται από κατάλληλα πιστοποιητικά ποιότητας και βαθμονόμησης (Calibration Certificates). Ο μετρητής ακτινοβολίας SRM-3006 είναι ένα φορητό μέσο μέτρησης που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της ασφάλειας σε σχέση με τα RF και τα μικροκυματικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία και χρησιμοποιείται από το Εργαστήριο Συστημάτων Υπολογιστών και Επικοινωνιών (ΕΣΥΕ) του Τμήματος Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Αιγαίου.

Το πεδίομετρο SRM-3006 είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα αυτόματης μέτρησης ηλεκτρομαγνητικού πεδίου καθώς και σύγκρισης των αποτελεσμάτων των μετρήσεων με τα επιτρεπτά όρια ασφάλειας από εκπομπές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Παρακάτω αναφέρονται τα κύρια χαρακτηριστικά του φασματικού αναλυτή:

- Καλύπτει ευρύ φάσμα συχνοτήτων από 9 kHz έως 6 GHz
- Έχει ισοτροπική κεραία (τριαξονική)
- Μέγιστη δυνατή κάλυψη στο εύρος μέτρησης
- Ρυθμιζόμενο εύρος μέτρησης με βήματα του 1 dB
- Αντοχή στην έκθεση ακτινοβολίας μέχρι και 200 V/m
- Η προκαθορισμένη αβεβαιότητα της μέτρησης συμβάλλει στην απλοποίηση των υπολογισμών
- Λειτουργίες αξιολόγησης που είναι ενσωματωμένες

- Το εύρος ζώνης ανάλυσης φτάνει έως τα 32 MHz για την αξιολόγηση των πιο πρόσφατων τεχνολογιών κινητών επικοινωνιών
- Μέγιστη ανίχνευση μέχρι 180 V/m για την αξιολόγηση της ευαισθησίας της συσκευής. [32]

3.1.1 Είδος μετρητικού εξοπλισμού

Για την πραγματοποίηση μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικού υποβάθρου - μη ιονίζουσας ακτινοβολίας στο πεδίο ακτινοβολίας μιας κεραίας με τη χρήση SRM - 3006 το ΕΣΥΕ έχει την γνώση που επιτρέπει την εκτίμηση και την κατάλληλη επιλογή οργάνων δοκιμής και διαδικασιών μέτρησης σύμφωνα με τα πρότυπα. Το ΕΣΥΕ είναι πιστοποιημένο σύμφωνα με τον ΕΛΟΤ Ε.Ν. ISO/IEC 17025 (όπως θα αναφερθούμε παρακάτω) και διαθέτει τον κατάλληλο εξοπλισμό για την σωστή μέτρηση και τήρηση της πιστοποίησής του. Ο απαιτούμενος εξοπλισμός που διαθέτει και χρησιμοποιεί περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

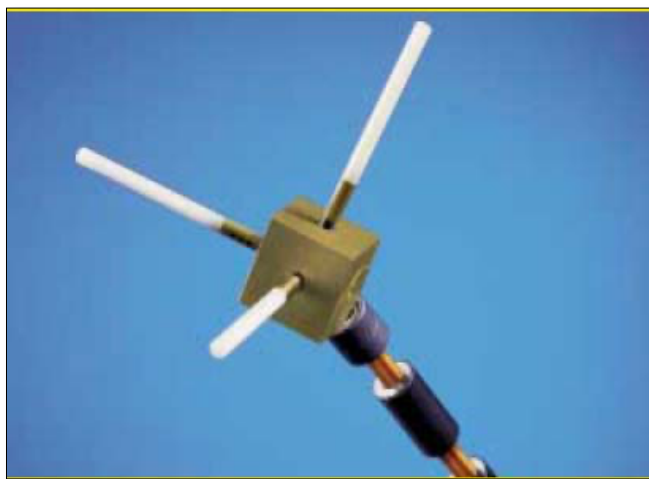
1. Επιλεκτικός Μετρητής Ακτινοβολίας SRM – 3006 (Selective Radiation Meter) (βασική μονάδα)
2. Τριαξονικός Αισθητήρας ηλεκτρικού πεδίου, συχνοτήτων 75 MHz – 3 GHz (Triaxial probe, E-field, 75 MHz – 3 GHz)
3. Τριαξονικός Αισθητήρας ηλεκτρικού πεδίου, συχνοτήτων 420MHz – 6 GHz (Triaxial probe, E-field, 420 MHz –6 GHz)
4. Καλώδιο RF (RF cable) 9 kHz – 6 GHz, 1.5 m
5. Καλώδιο USB Θύρας mini USB
6. Καλώδιο Σειριακής Θύρας (Cable D89 / D89 for serial interface)
7. Καλώδιο Μετατροπής USB σε Serial (Adapter USB to serial interface / USB 2.0 to D89)
8. Λουρί μεταφοράς της βασικής μονάδας (Carrying strap for SRM – 3000 basic unit)
9. Βαλίτσα μεταφοράς (Transport hardcase)
10. Στήριγμα κεραίας (Antenna holder for uniaxial and triaxial antennas)
11. Τρίποδο (Tripod, non – conductive)
12. Λογισμικό ρύθμισης παραμέτρων SRM (Configuration software “SRM tools”)
13. Εγχειρίδιο Χρήσης (Operating manual)
14. Θερμόμετρο

3.1.2 Διάταξη και δυνατότητες του μετρικού εξοπλισμού

Το SRM-3006 αποτελείται από την βασική μονάδα και τον αισθητήρα μέτρησης. Η βασική μονάδα περιλαμβάνει τον αναλυτή φάσματος για την περιοχή συχνοτήτων 9 kHz μέχρι 6 GHz. Μπορεί να λειτουργεί με τριαξονικό αισθητήρα (probe) της Narda - χρησιμοποιεί τρία (3) κάθετα μεταξύ τους δίπολα και μετράει σε τρεις (3) κάθετους άξονες ταυτόχρονα - ή με κεραίες άλλων κατασκευαστών. Οι τριαξονικοί αισθητήρες επιτρέπουν μετρήσεις ομοιοκατευθυντικές από 75 MHz μέχρι 3 GHz και 420MHz μέχρι 6 GHz καλύπτοντας τις περιοχές του φάσματος συχνοτήτων

που αντιστοιχούν σε υπηρεσίες, όπως π.χ. FM, VHF, UHF, GSM-900, GSM-1800, UMTS, WLAN, 5G, LTE, RADAR-MICROWAVE-GPS, P2P-ESV-SRD-ETC κ.α. Ο αναλυτής συνδέεται με την τριαξονική κεραία, με ένα καλώδιο ελέγχου που διαθέτει και μια RF σύνδεση. Μέσω αυτών, γίνεται η σύνδεση στη μονάδα μέσω πολλαπλών ακίδων στην υποδοχή, με σκοπό τη μεταφορά δεδομένων, προκειμένου το SRM-3006 να τα επεξεργαστεί.[32]

Η κεραία τριών αξόνων εγκαθίσταται σε ένα ξύλινο τρίποδο και συνδέεται όπως με την κύρια μονάδα του SRM μέσω καλωδίου. Το εργαστήριο στηρίζεται στις διαδικασίες που καθορίζονται από διεθνή πρότυπα μέτρησης όσον αφορά τις αποστάσεις των χειριστών και γενικότερα των παρόντων κοντά στα συστήματα λήψης πεδίου (κεραίες, αισθητήρες), καθώς και τις ελάχιστες αποστάσεις από ανακλαστικές επιφάνειες και άλλους παράγοντες. Σκοπός είναι να διασφαλιστεί ότι οι μετρήσεις διεξάγονται σε περιβάλλοντα αδιατάρακτα πεδία, δηλαδή πεδία που δεν έχουν υποστεί μεταβολές εξαιτίας τυχαίων ή μη σχετιζόμενων παραγόντων κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.



Εικόνα 4 Ισοτροπική Κεραία τριών αξόνων SRM

Το όργανο μέτρησης είναι μια επαγγελματική συσκευή με πολλές χρήσεις και με ένα φιλικό προς το χρήστη γραφικό περιβάλλον. Η βασική μονάδα λειτουργεί με μπαταρία, είναι μεγάλης αντοχής και εύκολα μεταφερόμενη με το χέρι. Προσφέρει όλες τις διαδικασίες που απαιτούνται για μέτρηση, αποθήκευση και μεταφορά δεδομένων σε φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή για μόνιμη αποθήκευση και περαιτέρω επεξεργασία. 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.[32]

Η συσκευή SRM μπορεί να υπολογίσει αποτελέσματα που αφορούν το επίπεδο της έντασης του πεδίου ή το ποσοστό του επιτρεπτού επιπέδου έκθεσης από:

- Μία πηγή ή κανάλι
- Λίστα από πολλές πηγές ή κανάλια
- Συνεισφορά από δεδομένο εύρος συχνοτήτων
- Συνεισφορά από όλες τις ζώνες συχνοτήτων και το ποσοστό τους στην συνολική έκθεση.

Τα αποτελέσματα μέτρησης παρουσιάζονται σε μονάδες έντασης πεδίου, πυκνότητας ισχύος ή ποσοστού του επιτρεπτού ορίου. [32]

Η αποθήκευση των σειρών μετρήσεων και άλλων δεδομένων σε όλες τις θέσεις μέτρησης πραγματοποιείται όπως προαναφέρθηκε, με την βοήθεια του φορητού υπολογιστή, ο οποίος ελέγχει το όργανο μέτρησης μέσω του εξειδικευμένου λογισμικού, από όπου ρυθμίζονται και όλες οι παράμετροι λειτουργίας κατά την διεξαγωγή των μετρήσεων. Το υπολογιστικό αυτό σύστημα, χρησιμοποιεί έναν καλώδιο USB σε θύρα USB και το λογισμικό που προαναφέρθηκε για την συλλογή και την καταγραφή των πεδιακών μετρήσεων. Στον υπολογιστή γίνεται περαιτέρω ανάλυση, ώστε να απεικονίζονται τα αποτελέσματα σε μορφή πινάκων και διαγραμμάτων.[32]

Η συσκευή SRM-3006 είναι σε θέση να παράγει αναφορές σχετικά με:

- Την ένταση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου ή το ποσοστό του επιτρεπτού ορίου έκθεσης, είτε από μία πηγή ή ένα κανάλι, είτε από μια λίστα πολλαπλών πηγών ή καναλιών.
- Τη συνεισφορά κάθε εύρους συχνοτήτων δεδομένων.
- Τη συνεισφορά από όλες τις ζώνες συχνοτήτων και το ποσοστό τους στο συνολικό επίπεδο έκθεσης.
- Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται σε μονάδες έντασης ηλεκτρικού πεδίου, πυκνότητας ροής ισχύος ή ποσοστού του επιτρεπτού ορίου.[32]

Κατά την ενεργοποίηση της συσκευής, παρατηρείται μια κυματοειδής συνάρτηση που σχετίζεται με την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (σε V/m) και τη συχνότητα. Μέσω της επιλογής στην οθόνη (display), η μέτρηση μπορεί να μετατραπεί σε συνάρτηση είτε του μαγνητικού πεδίου (σε A/m) είτε της μέσης πυκνότητας ισχύος (σε W/m²).



Εικόνα 5: Συνδεσμολογία Μέτρησης και Καταγραφής

Όλα τα αποτελέσματα και τα δεδομένα που αποθηκεύονται στη συσκευή SRM – 3006 μπορούν να μεταφερθούν στον υπολογιστή μέσω του λογισμικού “SRM – 3006 tools”. Μέσω του λογισμικού παρέχονται οι εξής δυνατότητες:

- Μεταφορά όλων ή και επιλεγμένων αποθηκευμένων αποτελεσμάτων / δεδομένων σε μορφή “text” ή “CSV” στον υπολογιστή για περαιτέρω επεξεργασία μέσω άλλων προγραμμάτων (π.χ. Microsoft EXCEL®)
- Εκτύπωση αποτελεσμάτων σε μορφή περίληψης.[32]

Αυτό το αρχείο τύπου csv αποτελεί είσοδο για την εφαρμογή που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας.

3.2 Το Εργαστήριο Συστημάτων και Επικοινωνιών του Τμήματος Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Αιγαίου

Το Εργαστήριο Συστημάτων Υπολογιστών και Επικοινωνιών (ΕΣΥΕ) του Τμήματος Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Αιγαίου, ιδρύθηκε το 1999 ως μια μονάδα αφιερωμένη στην έρευνα και την εκπαίδευση. Το ΕΣΥΕ έχοντας ισορροπήσει θεωρία και πράξη, έχει αναπτύξει μια ευρεία δραστηριότητα έρευνας και εκπαίδευσης σε πολλούς τομείς της Τεχνολογίας Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ). Τα μέλη του ΕΣΥΕ έχουν συμμετάσχει ενεργά σε πολλά ευρωπαϊκά και εθνικά έργα, κερδίζοντας σημαντική εμπειρία και γνώση στον τομέα τους. Βασιζόμενοι σε αυτή την εμπειρία, το ΕΣΥΕ είναι ικανό να προσφέρει καινοτόμες λύσεις για την ανάπτυξη και υλοποίηση διάφορων στοιχείων της υποδομής ΤΠΕ, τα οποία είναι απαραίτητα για την αποτελεσματική παροχή μελλοντικών ψηφιακών υπηρεσιών. [29]

3.2.1 Υπηρεσία Μέτρησης Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας

Μελέτες και αναλύσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από διάφορες κεραίες πραγματοποιούνται από το επαγγελματικό και πιστοποιημένο εργαστήριο σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO/IEC 17025. Το εξειδικευμένο προσωπικό του Εργαστηρίου διενεργεί μετρήσεις, προκειμένου να εκτιμηθούν τα επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας διαφόρων περιοχών και να εξακριβωθεί εάν συμμορφώνονται με τα όρια που ορίζονται στο άρθρο 31 του Νόμου 3431 (ΦΕΚ 13/Α/03-02-2006) και στα άρθρα 2-4 του Νόμου 53571/3839 (ΦΕΚ 1105/Β/6-09-2). Η διαδικασία αυτή υποστηρίζεται από Κοινή Υπουργική Απόφαση των Υπουργών Ανάπτυξης, Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων, Υγείας και Πρόνοιας, Μεταφορών και Επικοινωνιών, και φέρει τον τίτλο «Μέτρα για την αποτροπή του κοινού από τη λειτουργία χερσαίων κεραιών». Το Εργαστήριο είναι πιστοποιημένο από το Εθνικό Συμβούλιο Διαπίστευσης (ΕΣΥΔ – Αρ. 824-3) για τη διεξαγωγή μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας υψηλής συχνότητας σύμφωνα με τις απαιτήσεις του ΕΛΟΤ Ε.Ν. ISO/IEC 17025. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σύμφωνα με τα πρότυπα ΕΛΟΤ EN 61566:1999, ΕΛ. [29]

3.2.2 Πιστοποίηση ISO:17025

Το Εργαστήριο όπως προαναφέρθηκε έχει λάβει πιστοποίηση από το Εθνικό Σύστημα Διαπίστευσης (ΕΣΥΔ) για τη διεξαγωγή μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικού πεδίου υψηλής συχνότητας, σύμφωνα με το ΕΛΟΤ Ε.Ν. ISO/IEC 17025. Το ISO 17025 είναι ένα διεθνές πρότυπο που θέτει τις απαιτήσεις για την επιτυχή λειτουργία εργαστηρίων δοκιμών και

βαθμολογήσεων. Το πρότυπο αυτό επικεντρώνεται στη διασφάλιση της ακρίβειας, της αξιοπιστίας και της εξειδίκευσης των αποτελεσμάτων που παράγονται από εργαστήρια που εκτελούν δοκιμές και βαθμολογήσεις. [29]

Το Εργαστήριο, όπως προαναφέρθηκε, έχει αποκτήσει πιστοποίηση από το Εθνικό Συμβούλιο Διαπίστευσης (ΕΣΥΔ) για την πραγματοποίηση μετρήσεων υψηλής συχνότητας ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, σύμφωνα με το πρότυπο ISO/IEC 17025 της ΕΛΟΤ. Το πρότυπο αυτό καθορίζει τις απαιτήσεις για την ακρίβεια και την αξιοπιστία των εργαστηρίων δοκιμών και μετρήσεων, εστιάζοντας στη διασφάλιση της αξιοπιστίας και της ακρίβειας των αποτελεσμάτων.

Το ISO 17025 καλύπτει πολλούς τομείς, συμπεριλαμβανομένων:

Δομή και Διαχείριση Εργαστηρίου: Οργανωτική δομή, πολιτικές ποιότητας, διαχείριση προσωπικού και εκπαίδευση, έλεγχος εγγράφων.

Τεχνικές Απαιτήσεις: Αναφέρονται σε εξοπλισμό, μεθοδολογία δοκιμών, ανάλυση αποτελεσμάτων, αξιολόγηση αβεβαιότητας και παρακολούθηση της επίδοσης του εξοπλισμού.

Δειγματοληψία: Προδιαγράφει τις μεθόδους δειγματοληψίας και την αντιμετώπιση δειγμάτων.

Ασφάλεια: Περιλαμβάνει απαιτήσεις για την ασφάλεια του προσωπικού και των δειγμάτων.

Διαχείριση Δεδομένων: Περιλαμβάνει απαιτήσεις για τη διαχείριση και την ασφάλεια των δεδομένων.

Εσωτερικός έλεγχος και Ποιότητα: Αναφέρεται στον έλεγχο ποιότητας εσωτερικά στο εργαστήριο. Το πρότυπο αυτό διασφαλίζει ότι τα εργαστήρια που είναι πιστοποιημένα σύμφωνα με το ISO 17025 λειτουργούν σύμφωνα με υψηλά πρότυπα ποιότητας και είναι ικανά να παράγουν αξιόπιστα αποτελέσματα δοκιμών και βαθμολογήσεων. [30], [31]

Η πιστοποίηση σύμφωνα με το ISO 17025 είναι σημαντική για εργαστήρια που επιθυμούν να δείξουν στους πελάτες τους ότι λειτουργούν σε υψηλά πρότυπα ποιότητας και ακρίβειας.

4

Μεθοδολογία μετρήσεων

4.1 Προδιαγραφές μετρήσεων του Εργαστηρίου Συστημάτων

Υπολογιστών και Επικοινωνιών ΕΣΥΕ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται το πρότυπο έκθεσης καθώς και ενδεικτικά αποτελέσματα μετρήσεων με στόχο την υλοποίηση του προτεινόμενου λογισμικού σύμφωνα με τις προδιαγραφές μετρήσεων του Εργαστηρίου οι οποίες βασίζονται στα ακόλουθα πρότυπα:

- ΕΛΟΤ EN 61566, «Μετρήσεις της έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία ραδιοσυχνότητας – Ένταση πεδίου στην περιοχή συχνοτήτων 100KHz ως 1GHz», 1999.
- ΕΛΟΤ 1422-3, «Συνεγκατάσταση κεραιών ραδιοεπικοινωνιών – Μέρος 3: Τεχνικές Δοκιμών και Μετρήσεων – Όρια», Έκδοση 1^η, 2007.
- CEPT, Revised ECC/REC/(02)04, “Measuring Non-Ionizing Electromagnetic Radiation (9KHz – 300GHz)”, 2007.

Τα αποτελέσματα από την επεξεργασία των μετρήσεων, εάν αυτές αφορούν την περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων, συγκρίνονται με τα όρια αναφοράς που ορίζονται στο Άρθρο 35, Παράγραφοι 1 και 3 (κατά περίπτωση) του νόμου 4635, ΦΕΚ 167/Α/30-10-2019, σε συνδυασμό με την Κοινή Υπουργική Απόφαση Κ.Υ.Α. 53571/3839/1-9-2000 με τίτλο "Μέτρα προφύλαξης του κοινού από τη λειτουργία κεραιών εγκατεστημένων στην ξηρά", ΦΕΚ Β' 1105/6-9-2000, καθώς και την Κ.Υ.Α. 2300 ΕΦΑ (493), με θέμα "Τρόπος διενέργειας των μετρήσεων για την τήρηση των ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από κάθε κεραία", ΦΕΚ 346/Β/3-3-2008.

Σύμφωνα με το συγκεκριμένο άρθρο, ορίζεται ότι σε περίπτωση εγκατάστασης κεραίας εντός απόστασης μέχρι 300 μέτρων από την περίμετρο κτιριακών εγκαταστάσεων βρεφονηπιακών σταθμών, σχολείων, γηροκομείων και νοσοκομείων, τα όρια έκθεσης του κοινού δεν πρέπει να υπερβαίνουν το 60% των τιμών που ορίζονται στα άρθρα 2-4 της Κοινής Υπουργικής Απόφασης 53571/3839 ΦΕΚ 1105 Β', της 6ης Σεπτεμβρίου 2000, και του νόμου 4635, ΦΕΚ 167/Α/30-10-2019. Αυτός ο περιορισμός εφαρμόζεται από το Εργαστήριο Συστημάτων Υπολογιστών και Επικοινωνιών σε όλες τις συγκρίσεις των μετρούμενων και παραγόμενων μεγεθών

ηλεκτρομαγνητικών πεδίων με τα όρια αναφοράς. Αυτό γίνεται επειδή, από τη μία πλευρά, αντιπροσωπεύει την πιο δυσμενή περίπτωση για σύγκριση και, από την άλλη πλευρά, πολλές φορές το είδος χρήσης των χώρων από το κοινό σε μια περιοχή μετρήσεων δεν είναι γνωστό.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τιμές που ορίζονται στα άρθρα 2-4 της Κοινής Υπουργικής Απόφασης 53571/3839 ΦΕΚ 1105 Β', της 6ης Σεπτεμβρίου 2000, συμπίπτουν με αυτές που καθορίζονται στην σύσταση του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης του 1999 σχετικά με τον περιορισμό της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία από 0 Hz έως 300 GHz (Σύσταση του Συμβουλίου της 12ης Ιουλίου 1999 για τον περιορισμό της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία από 0 Hz έως 300 GHz, 1999/519/EC). Αυτή η σύσταση εκδόθηκε από το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης με βάση την οδηγία της διεθνούς Επιτροπής για την Προστασία από την μη Ιοντίζουσα Ακτινοβολία (ICNIRP, 1998, "Κατευθυντήριες οδηγίες για τον περιορισμό της έκθεσης σε μεταβαλλόμενα στο χρόνο ηλεκτρικά, μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία έως 300 GHz"), η οποία προέβλεπε τη θέσπιση μέγιστων ορίων επιτρεπτής έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία μη ιοντιζουσών ακτινοβολιών από τα κράτη μέλη.

Με την παραπάνω μέθοδο εκτίμησης των αποτελεσμάτων των μετρήσεων, τα ανώτατα επιτρεπτά όρια αναφοράς που ορίζονται από την ελληνική νομοθεσία και χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των μετρήσεων από το Εργαστήριο Συστημάτων Υπολογιστών και Επικοινωνιών του Πανεπιστημίου Αιγαίου στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων, αντιστοιχούν στο 60% των ανώτατων επιτρεπτών επιπέδων αναφοράς που συστήνει το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης και η Διεθνής Επιτροπή για την Προστασία από την μη Ιοντίζουσα Ακτινοβολία. Αυτό ισχύει ως προς την πυκνότητα ισχύος, και συνεπώς κατά τη σχέση της με την ένταση του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου. Στην περίπτωση μετρήσεων σε μακρινό πεδίο προκύπτουν οι αντίστοιχες τιμές για τα ανώτατα επιτρεπτά επίπεδα αναφοράς της έντασης του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου για κάθε ζώνη συχνοτήτων, όπως ορίζονται στην Κοινή Υπουργική Απόφαση 2300 ΕΦΑ (493), με τίτλο "Τρόπος διενέργειας των μετρήσεων για την τήρηση των ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από κάθε κεραία" (ΦΕΚ 346/Β/3-3-2008), καθώς και από την Παράγραφο 1 και 3 (κατά περίπτωση) του άρθρου 35 του Νόμου 4635 (ΦΕΚ 167/Α/30-10-2019).

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, οι μετρήσεις για τα μεγέθη στη ζώνη συχνοτήτων από 100 kHz έως 10 GHz πρέπει να εκφράζονται ως μέσος όρος για κάθε χρονική περίοδο διάρκειας 6 λεπτών. Κατά τη διαδικασία μέτρησης, τοποθετείται επιλεκτικός μετρητής στο ύψος όπου παρατηρείται η υψηλότερη τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στον χώρο που καταλαμβάνει ένα ανθρώπινο σώμα. Αν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές σε διαφορετικά ύψη, πραγματοποιούνται τρεις (3) μετρήσεις σε τρία (3) διαφορετικά ύψη (1.7m, 1.5m και 1.1m), και ο υπολογισμός γίνεται με βάση τον μέσο όρο των καταγεγραμμένων τιμών, σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ 1422-3:2007. Οι μέσοι όροι των μετρήσεων απεικονίζονται σε όλα τα σημεία μέτρησης.

Σε κάθε περίπτωση πραγματοποιείται σύγκριση των μετρούμενων μεγεθών με τα αντίστοιχα όρια μέγιστης επιτρεπόμενης έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, όπως αυτά προσδιορίζονται από τον Ν. 4635, ΦΕΚ 167/Α/30-10-2019.

Βάσει των ορίων μέγιστης επιτρεπόμενης έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προκύπτουν τα όρια για τις μετρούμενες, στα πλαίσια της αναφοράς, ζώνες

συχνοτήτων. Αξίζει να τονιστεί ότι για τις περιπτώσεις που τα όρια αναφοράς εξαρτώνται από την συχνότητα (ζώνη συχνοτήτων 400 – 2000MHz), τότε ως όριο αναφοράς στην κάθε υποπεριοχή συχνοτήτων χρησιμοποιείται το όριο που αντιστοιχεί στη δυσμενέστερη περίπτωση, δηλαδή το πιο αυστηρό (μικρότερο) όριο. Διευκρινίζεται ότι η διεξαγόμενη δυσμενής θεώρηση, έχει τεθεί αποκλειστικά από το εργαστήριο και δεν προβλέπεται από κανένα πρότυπο, κανονισμό ή νομοθεσία. Η θεώρηση αυτή χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις όπου το συνολικό μετρούμενο μέγεθος της Έντασης Ηλεκτρικού Πεδίου για το συνολικό εύρος ζώνης συχνοτήτων 75MHz – 3GHz είναι μικρότερο από το 30% του ελάχιστου ορίου αναφοράς σύμφωνα με την κείμενη ελληνική νομοθεσία και για επίπεδα αναφοράς για θερμικές επιδράσεις με συντελεστή 60%, δηλαδή για συνολική μετρούμενη τιμή Έντασης Ηλεκτρικού Πεδίου μικρότερη από 6,5 V/m ($= 21,7 \cdot 30\%$). Σε αντίθετη περίπτωση, χρησιμοποιείται αναλυτικός προσδιορισμός του Λόγου Έκθεσης λαμβάνοντας υπόψη το ακριβές επιτρεπτό όριο αναφοράς για τη ζώνη συχνοτήτων που μετράται.

Ενδεικτική Χρήση Υπηρεσιών	Ζώνη Συχνοτήτων (MHz)	Όρια αναφοράς Έντασης Ηλεκτρικού Πεδίου, E (V/m)*		Όρια αναφοράς Έντασης Μαγνητικού Πεδίου, H (A/m)*		Όρια αναφοράς Πυκνότητας Ροής Ισχύος, S (W/m ²)*	
		70%	60%	70%	60%	70%	60%
Before	75-87	23,4	21,7	0,0610	0,0565	1,4	1,2
Radio FM	87-109	23,4	21,7	0,0610	0,0565	1,4	1,2
VHF-TV/CB	109-300	23,4	21,7	0,0610	0,0565	1,4	1,2
Tetra	300-450	23,4	21,7	0,0610	0,0565	1,4	1,2
UHF-TV	450-700	24,4	22,6	0,0658	0,0609	1,6	1,4
5G-700	700-790	30,4	28,2	0,0820	0,0759	2,4	2,1
LTE-800	790-876	32,3	29,9	0,0871	0,0807	2,8	2,4
GSM-900	876-960	34,0	31,5	0,0918	0,0849	3,1	2,6
NAVI-GPS-DAB	960-1700	35,6	33,0	0,0960	0,0889	3,4	2,9
GSM-1800/LTE-1800	1700-1900	47,4	43,9	0,1278	0,1183	5,9	5,1
UMTS-5G 2100	1900-2200	50,1	46,4	0,1351	0,1251	6,6	5,7
WiFi	2200-2500	51,0	47,2	0,1340	0,1240	7,0	6,0
LTE-2600	2500-2690	51,0	47,2	0,1340	0,1240	7,0	6,0
Radar – Microwave	2690-3000	51,0	47,2	0,1340	0,1240	7,0	6,0

Πίνακας 5 Όρια αναφοράς για τις μετρηθείσες ζώνες συχνοτήτων βάσει του Ν. 4635, ΦΕΚ 167/Α/30-10-2019, για τη δυσμενέστερη περίπτωση (αυστηρότερα όρια)

*Η πρώτη τιμή σε κάθε στήλη αντιστοιχεί στα όρια αναφοράς μετά την εφαρμογή ενός συντελεστή μείωσης της τάξης του 70%, ενώ η δεύτερη τιμή αντιπροσωπεύει τα όρια αναφοράς μετά την εφαρμογή ενός συντελεστή μείωσης της τάξης του 60%.

Σύμφωνα με τον "Κανονισμός διενέργειας μετρήσεων των επιπέδων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο περιβάλλον σταθμών κεραιών" της υπ' αριθμ. 2300 ΕΦΑ (493) ΚΥΑ (ΦΕΚ 346/Β/3-3-2008), για την αξιολόγηση της επιβάρυνσης του κοινού από μια ή περισσότερες διατάξεις που λειτουργούν σε στενή ζώνη συχνοτήτων, χρησιμοποιείται ένας μετρικός δείκτης

που ονομάζεται "Λόγος Έκθεσης" (ΛΕ). Για τον υπολογισμό του Λόγου Έκθεσης χρησιμοποιείται η ακόλουθη εξίσωση:

$$\left(\frac{E_i}{E_{op,i}} \right)^2$$

Σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ 1422-3 με τίτλο "Συνεγκατάσταση κεραίων ραδιοεπικοινωνιών – Μέρος 3: Τεχνικές δοκιμών και μετρήσεων – Όρια" και τις παραγράφους 8 και 9 της υπ' αριθμ. 2300 ΕΦΑ (493) Κοινής Απόφασης των Υπουργών Ανάπτυξης και Μεταφορών και Επικοινωνιών, με θέμα "Τρόπος διενέργειας των μετρήσεων για την τήρηση των ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από κάθε κεραία" (ΦΕΚ 346/Β/3-3-2008), ορίζεται ο Συνολικός Λόγος Έκθεσης (ΣΛΕ) με βάση την παρακάτω εξίσωση:

$$\sum_{i=75\text{MHz}}^{3\text{GHz}} \left\{ \left(\frac{E_i}{E_{op,i}} \right)^2 \right\}$$

όπου E_i είναι η μετρούμενη τιμή της έντασης ηλεκτρικού πεδίου στη συχνότητα i και $E_{op,i}$ είναι η τιμή του ορίου που αντιστοιχεί στη συγκεκριμένη συχνότητα για πολλαπλές εκπομπές και επισημαίνει το ποσό της συνολικής έκθεσης σε σχέση με τα θεσμοθετημένα όρια για όλο το εύρος ζώνης 75MHz έως 3GHz. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές που προαναφέρθηκαν, για να διασφαλιστεί η συμμόρφωση προς τα όρια, η συνολική έκθεση πρέπει να είναι μικρότερη από τη μονάδα. Το διάστημα εμπιστοσύνης 95% χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η συνολική αβεβαιότητα, βασιζόμενο στη μέθοδο BIPM και είναι αποδεκτό από τον οργανισμό ETSI.

4.2 Θέσεις μετρήσεων

Επιλέγονται προσεκτικά η περιοχή και οι θέσεις για τη διεξαγωγή των μετρήσεων, λαμβάνοντας υπόψη τα ακόλουθα στοιχεία:

- τους εγκατεστημένους σταθμούς
- τις καιρικές συνθήκες, όπως θερμοκρασία και υγρασία, κατά τη χρονική στιγμή της μέτρησης
- την παρουσίαση της περιοχής μέτρησης μέσω κάτοψης περιοχής
- το τοπογραφικό διάγραμμα που περιλαμβάνει τα αριθμημένα σημεία μετρήσεων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, με σχετική ακρίβεια.

Επιπλέον, για κάθε σημείο μέτρησης σημειώνονται τα ακόλουθα στοιχεία:

- το γεωγραφικό πλάτος
- το γεωγραφικό μήκος
- το υψόμετρο από την επιφάνεια της θάλασσας.

Τέλος, φωτογραφίζονται οι πηγές εκπομπής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (καθώς και η περιοχή γύρω από αυτές) μαζί με τον μετρητικό εξοπλισμό στην περιοχή μέτρησης.

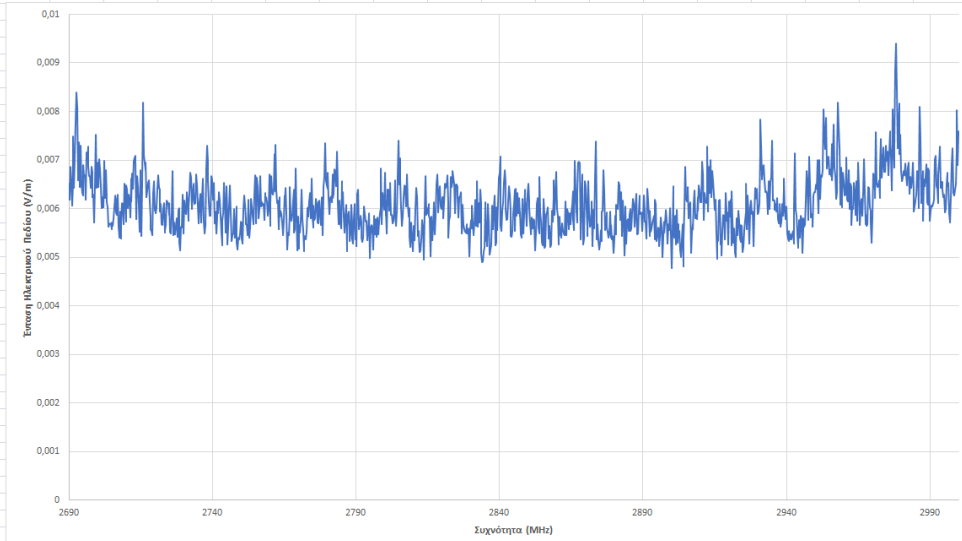
4.3 Επεξεργασία Μετρήσεων

Η ανάλυση των μετρήσεων γίνεται με την χρήση προετοιμασμένων συναρτήσεων που περιέχονται σε δύο αρχεία υπολογιστικών φύλλων τύπου Excel. Αυτά τα αρχεία, σε συνδυασμό με το CSV αρχείο του SRM-3006, λειτουργούν ως είσοδος για το λογισμικό παραγωγής αυτόματης έκθεσης. Στη συνέχεια, θα εξετάσουμε τον τρόπο παρουσίασης των αποτελεσμάτων μετά την επεξεργασία τους, δηλαδή όταν συμπληρωθούν οι κατάλληλες θέσεις στο Excel με τα αρχικά δεδομένα από το αρχείο CSV.

Description	Fstart (MHz)	Fstop (MHz)	Fcentral (MHz)	VALUE (V/m) 1,1m	VALUE (V/m) 1,5m	VALUE (V/m) 1,7m	Mean Value (V/m)	Elim	Hlim	Slim	Λόγος Έκθεσης 1,1m	Λόγος Έκθεσης 1,5m	Λόγος Έκθεσης 1,7m	Μέση τιμή Λόγου Έκθεσης	Αβεβαιότητα Τύπου Α			
75-87	75	87	81	0.01365	0.01365	0.01365	1,37E-02	21,7	0,057	1,2	3,96E-07	3,96E-07	3,96E-07	3,96E-07	1,89E-02			
87-109	87	109	98	0.01631	0.01631	0.01631	1,63E-02	21,7	0,057	1,2	5,65E-07	5,65E-07	5,65E-07	5,65E-07	1,89E-02			
109-300	109	300	204,5	0.0288	0.0288	0.0288	2,88E-02	21,7	0,057	1,2	1,76E-06	1,76E-06	1,76E-06	1,76E-06	1,89E-02			
300-450	300	450	375	0.01616	0.01616	0.01616	1,62E-02	21,7	0,057	1,2	5,55E-07	5,55E-07	5,55E-07	5,55E-07	1,89E-02			
450-700	450	700	575	0.01703	0.01703	0.01703	1,70E-02	22,6	0,0609	1,4	5,68E-07	5,68E-07	5,68E-07	5,68E-07	1,89E-02			
700-790	700	790	745	0.01124	0.01124	0.01124	1,12E-02	28,2	0,0759	2,1	1,59E-07	1,59E-07	1,59E-07	1,59E-07	1,89E-02			
790-876	790	876	833	0.06062	0.06062	0.06062	6,06E-01	29,9	0,0807	2,4	4,10E-04	4,10E-04	4,10E-04	4,10E-04	1,89E-02			
876-960	876	960	918	0.08381	0.08381	0.08381	8,38E-02	31,5	0,0849	2,6	7,07E-06	7,07E-06	7,07E-06	7,07E-06	1,89E-02			
960-1700	960	1700	1330	0.02456	0.02456	0.02456	2,46E-02	33,0	0,0889	2,9	5,54E-07	5,54E-07	5,54E-07	5,54E-07	1,89E-02			
1700-1900	1700	1900	1800	0.08119	0.08119	0.08119	8,12E-01	43,9	0,1183	5,1	3,42E-04	3,42E-04	3,42E-04	3,42E-04	9,75E-03			
1900-2200	1900	2200	2050	0.04606	0.04606	0.04606	4,61E-02	46,4	0,1251	5,7	9,84E-07	9,84E-07	9,84E-07	9,84E-07	9,75E-03			
2200-2500	2200	2500	2350	0.02936	0.02936	0.02936	2,94E-02	47,2	0,124	6	3,87E-07	3,87E-07	3,87E-07	3,87E-07	9,75E-03			
2500-2690	2500	2690	2595	0.03035	0.03035	0.03035	3,04E-02	47,2	0,124	6	4,13E-07	4,13E-07	4,13E-07	4,13E-07	2,22E-02			
2690-3000	2690	3000	2845	0.04331	0.04331	0.04331	4,33E-02	47,2	0,124	6	8,42E-07	8,42E-07	8,42E-07	8,42E-07	2,22E-02			
75-3000				1,021	1,021	1,021	1,021	21,7	0,057	1,2	0,00221377	0,00221377	2,21E-03	7,66E-04				
														Συνολικός Λόγος Έκθεσης				
Συμπληρώνονται μόνο οι κίτρινες περιοχές με τιμές έντασης ηλεκτρικού πεδίου και η θερμοκρασία.			0,6140562 0,6140562 0,6140562															
			Stotal= 1,75E-03 1,75E-03 1,75E-03 W/m ²															
Θερμ. °C	22	Θερμοκρασία εντός βασικής περιοχής μέτρησης																
Total Uncertainty Budget											2,77E-03		πικνότητα ροής ισχύος					
Frequency (MHz)	Standard Type A Uncertainty	Standard Type B Uncertainty	Proximity Error	Standard Uncertainty	Expanded Uncertainty	434 φορές κάτω από τη μονάδα η πικν. ροής ισχύος												
75-87	0,0248	0,1934	0,1150	0,2264	0,4437	1305,081 φορές κάτω από τη μονάδα ο ΣΛΕ												
87-109	0,0248	0,1934	0,1150	0,2264	0,4437													
109-300	0,0248	0,1934	0,1150	0,2264	0,4437													
300-450	0,0248	0,1861	0,1150	0,2202	0,4316	ΣΛΕ=		7,66E-04	+/-	4,49E-04	Τηρούνται τα όρια							
450-700	0,0248	0,1861	0,1150	0,2202	0,4316	Κάτω όριο ΣΛΕ		3,17E-04										
700-790	0,0248	0,1883	0,1150	0,2220	0,4351	Άνω όριο ΣΛΕ		1,22E-03										
790-876	0,0248	0,1883	0,1150	0,2220	0,4351													

Εικόνα 6 Παρουσιάζεται απόσπασμα από το αρχείο excel Processing Low

Επιλεκτικού Μετρητή Ακτινοβολίας SRM-3006



Εικόνα 7 Παρουσιάζεται Απόσπασμα από το αρχείο Spectrum Analysis

22848	Avg Progr	12				
22849	No Savg	0				
22850	Number U	1				
22851	Result Type(s)			AVG		
22852	Overdriven			NO		
22853	Total Value [V/m]			0,4804		
22854	Total Noise Flag			UNCHECKED		
22855	Others Value [V/m]			0		
22856	Others Noise Flag			UNCHECKED		
22857	Number Values			15		
22858		Fmin [Hz]	Fmax [Hz]	RBW [Hz]	ServiceNa	Value [V/ NoiseFlag
22859		75000000	87000000	3000000	Before	0,01413 UNCHECKED
22860		87000000	1,09E+08	5000000	Radio FM	0,01586 UNCHECKED
22861		1,09E+08	3E+08	20000000	VHF-TV/C	0,02979 UNCHECKED
22862		3E+08	4,5E+08	20000000	Tetra	0,01699 UNCHECKED
22863		4,5E+08	7E+08	20000000	UHF-TV	0,01761 UNCHECKED
22864		7E+08	7,9E+08	20000000	5G-700	0,009707 UNCHECKED
22865		7,9E+08	8,76E+08	20000000	LTE-800	0,287 UNCHECKED
22866		8,76E+08	9,6E+08	20000000	GSM-900	0,0187 UNCHECKED
22867		9,6E+08	1,7E+09	20000000	NAVI-GPS	0,02567 UNCHECKED
22868		1,7E+09	1,9E+09	20000000	GSM/LTE-	0,375 UNCHECKED
22869		1,9E+09	2,2E+09	20000000	UMTS/5G-	0,03014 UNCHECKED
22870		2,2E+09	2,5E+09	20000000	WiFi	0,03022 UNCHECKED
22871		2,5E+09	2,69E+09	20000000	LTE-2600	0,03109 UNCHECKED
22872		2,69E+09	3E+09	20000000	Radar-Mic	0,04476 UNCHECKED
22873		0	0	0 Others	0	UNCHECKED
22874	End	R-0349_00303_00001				
22875	Begin	R-0349_00304_HEADER				
22876	Index	304				
22877	Subindice	1				
22878	Device Se	R-0349				
22879	Type	SAFETY				
22880	Store Moc	MAN				
22881	Date	30.09.2022				
22882	Time	9:02:53				
22883	Comment					
22884	Voice Con	NO				
22885	GPS Avail	YES				
22886	End	R-0349_00304_HEADER				

Εικόνα 8 Παρουσιάζεται απόσπασμα από το αρχείο csv Raw Data

4.4 Αποτελέσματα Μετρήσεων Ευρείας Ζώνης

Τα αποτελέσματα των ευρυζωνικών μετρήσεων παρουσιάζονται ως πίνακας και αφορούν τον μέσο όρο των τριών καταγεγραμμένων τιμών στα τρία διαφορετικά ύψη για την Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου και τον αντίστοιχο υπολογισμό της Πυκνότητας Ροής Ισχύος, σε κάθε σημείο μέτρησης.

Σημείο Μέτρησης	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου E (V/m)	Πυκνότητα Ροής Ισχύος (W/m ²)
1	1,99E-01	1,05E-04
2	1,02E+00	2,77E-03
:	:	:
10	6,48E-01	1,11E-03
11	1,49E-01	5,87E-05

Πίνακας 6 Παράδειγμα αναλυτικής παρουσίασης αποτελεσμάτων ευρυζωνικών μετρήσεων για την Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου και την Πυκνότητα Ροής Ισχύος σε όλα τα σημεία μέτρησης

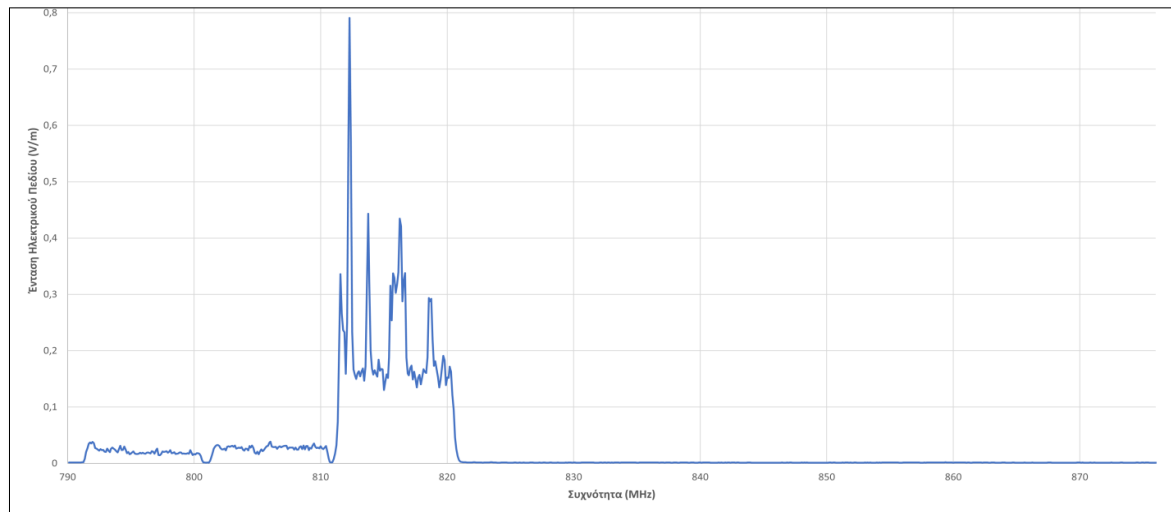
4.5 Αποτελέσματα Μετρήσεων Στενής Ζώνης

Με τη χρήση της λειτουργίας "Spectrum Analysis" του SRM-3006, είναι δυνατή η πραγματοποίηση μετρήσεων στενής ζώνης για διάφορες ζώνες συχνοτήτων. Με βάση τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων, η συνεισφορά του ηλεκτρικού πεδίου μπορεί να παρουσιαστεί για κάθε ζώνη συχνοτήτων:

- Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου στην περιοχή μέτρησης για τη ζώνη συχνοτήτων 75-87 MHz
- Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου στην περιοχή μέτρησης για τη ζώνη συχνοτήτων 87-109 MHz
- Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου στην περιοχή μέτρησης για τη ζώνη συχνοτήτων 109-300 MHz

και ούτω καθεξής.

Μια αναπαράσταση της Έντασης Ηλεκτρικού Πεδίου σε μια περιοχή μέτρησης για μια συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 9 Παράδειγμα Έντασης Ηλεκτρικού Πεδίου στην περιοχή μέτρησης για τη ζώνη συχνοτήτων 790-876 MHz

4.6 Ευρυζωνικές μετρήσεις

Παράλληλα με τις ευρυζωνικές μετρήσεις που παρουσιάστηκαν σε προηγούμενο πίνακα, ο μετρητικός εξοπλισμός παρέχει στον Πίνακα 7 τις τιμές του Συνολικού Λόγου Έκθεσης καθώς και την Αβεβαιότητα του Συνολικού Λόγου Έκθεσης για κάθε ένα από τα σημεία μέτρησης. Αυτό γίνεται λαμβάνοντας υπόψη το αυστηρότερο όριο αναφοράς για κάθε υποπεριοχή του φάσματος (που αντιστοιχεί στη μικρότερη συχνότητα κάθε υποπεριοχής), σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία.

Σε όλα τα σημεία μέτρησης πραγματοποιείται λεπτομερής ανάλυση του φάσματος για τον υπολογισμό του Λόγου Έκθεσης που προσφέρει κάθε ζώνη συχνοτήτων μεμονωμένα. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα παράδειγμα αντίστοιχου πίνακα:

Σημείο Μέτρησης	Πυκνότητα Ροής Ισχύος (W/m^2)	Συνολικός Λόγος Έκθεσης	Αβεβαιότητα Συνολικού Λόγου Έκθεσης
1	1,05E-04	3,28E-05	1,31E-05
2	2,77E-03	7,66E-04	4,49E-04
:	:	:	:
10	1,11E-03	3,06E-04	1,77E-04
11	5,87E-05	1,89E-05	7,26E-06

Πίνακας 7 Παράδειγμα μιας Αναλυτικής παρουσίασης του Συνολικού Λόγου Έκθεσης (ΣΛΕ) και της Αβεβαιότητας του Συνολικού Λόγου Έκθεσης για τις ευρυζωνικές μετρήσεις.

4.7 Μετρήσεις επιλεκτικές ως προς τη συχνότητα

Επιπλέον, πραγματοποιείται ανάλυση του φάσματος στα σημεία μέτρησης με τη χρήση της λειτουργίας "Safety Evaluation" του SRM-3006, προκειμένου να ανιχνευθούν οι επιμέρους πηγές που συμβάλλουν στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και η συνεισφορά τους σε αυτό. Ένα παράδειγμα αποτελεσμάτων αυτής της φασματικής ανάλυσης στην περιοχή συχνοτήτων 75MHz - 3GHz παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα (ένας πίνακας για κάθε σημείο μέτρησης). Αυτά τα αποτελέσματα περιλαμβάνουν την Ένταση του Ηλεκτρικού Πεδίου, την Πυκνότητα Ροής Ισχύος, καθώς και τον ΛΕ και την Αβεβαιότητα του ΛΕ στα σημεία μέτρησης.

Ενδεικτική Χρήση Υπηρεσιών	Ζώνη Συχνοτήτων (MHz)	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου, E (V/m)	Πυκνότητα Ροής Ισχύος, S (W/m ²)	Λόγος Έκθεσης	Αβεβαιότητα Λόγου Έκθεσης
Before	75-87	1,33E-02	4,66E-07	3,73E-07	3,31E-07
Radio FM	87-109	1,55E-02	6,41E-07	5,13E-07	4,54E-07
VHF-TV/CB	109-300	2,89E-02	2,21E-06	1,77E-06	1,57E-06
:	:	:	:	:	:
Radar – Microwave	2690-3000	4,30E-02	4,89E-06	8,28E-07	7,54E-07
Συνολικός Λόγος Έκθεσης (ΣΛΕ)				3,28E-05	1,31E-05

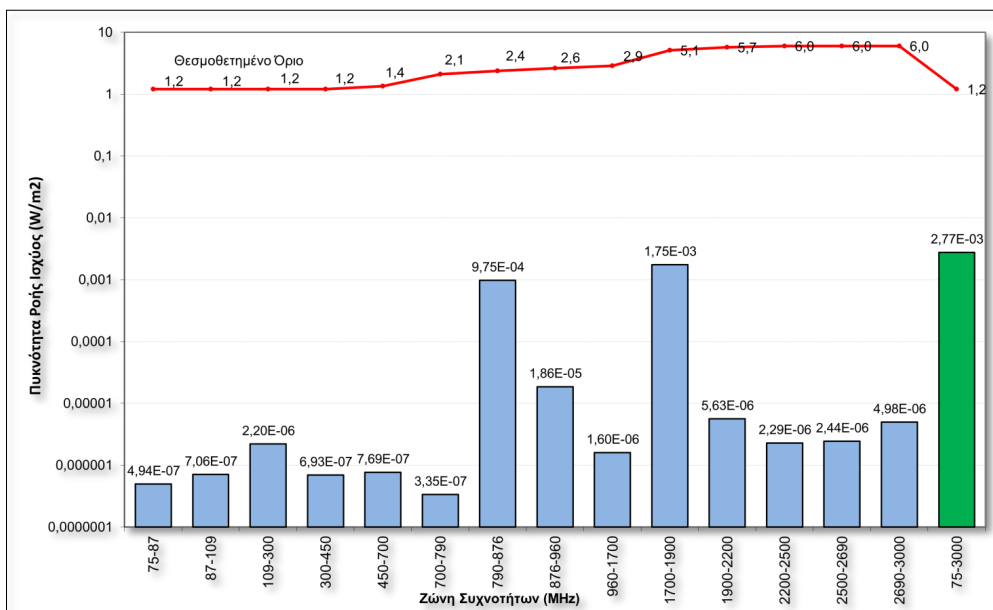
Πίνακας 8 Αναλυτική επισκόπηση φάσματος 75MHz - 3GHz για την Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου, την Πυκνότητα Ροής Ισχύος, το ΛΕ και την Αβεβαιότητα του σε κάθε υποπεριοχή του φάσματος για όλα τα σημεία ξεχωριστά

Από τα δεδομένα που προκύπτουν, μπορούμε να συμπεράνουμε τον υψηλότερο Συνολικό Λόγο Έκθεσης (ΣΛΕ) για ολόκληρο το μετρούμενο φάσμα συχνοτήτων (75 MHz - 3 GHz) σε κάποιο από τα μετρημένα σημεία. Αυτή η εκτίμηση λαμβάνει υπόψη την αβεβαιότητα που σχετίζεται με τη συγκεκριμένη υψηλή μέτρηση, και αποτελεί τον Συνολικό Λόγο Έκθεσης (ΣΛΕ).

4.8 Αποτελέσματα Μετρήσεων του πιο επιβαρυνμένου ΣΛΕ

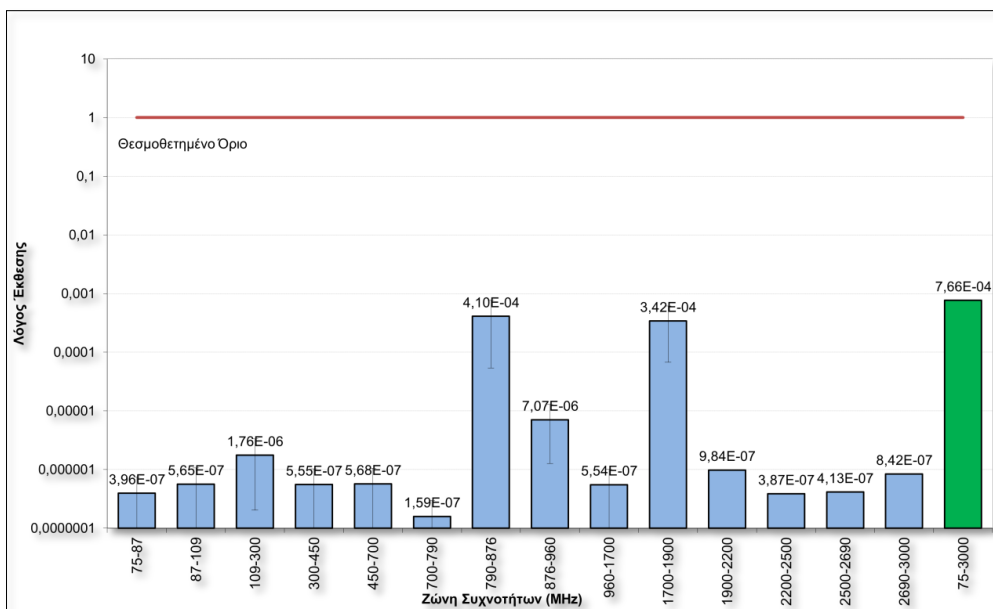
Στο συγκεκριμένο τμήμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που διενεργήθηκαν στο σημείο μέτρησης με τον υψηλότερο Συνολικό Λόγο Έκθεσης (ΣΛΕ). Παρουσιάζονται γραφικά (σε ραβδόγραμμα) οι υπολογιζόμενες Πυκνότητες Ροής Ισχύος για κάθε υποπεριοχή του φάσματος που ελέγχθηκε στο εν λόγω σημείο. Μια κόκκινη γραμμή αναπαριστά το αυστηρότερο όριο αναφοράς για κάθε υποπεριοχή του φάσματος (που αντιστοιχεί στη μικρότερη συχνότητα κάθε υποπεριοχής), σύμφωνα με την ισχύουσα ελληνική νομοθεσία. Ένα παράδειγμα παρουσιάζεται παρακάτω.

Διπλωματική εργασία: Ανάπτυξη λογισμικού διαχείρισης και αξιοποίησης των δυνατοτήτων του
Επιλεκτικού Μετρητή Ακτινοβολίας SRM-3006



Εικόνα 10 Παράδειγμα μιας Υπολογιζόμενης Πυκνότητας Ροής Ισχύος για κάθε υποπεριοχή του φάσματος στο πιο επιβαρυνμένο σημείο μέτρησης και το αντίστοιχο θεσμοθετημένο όριο

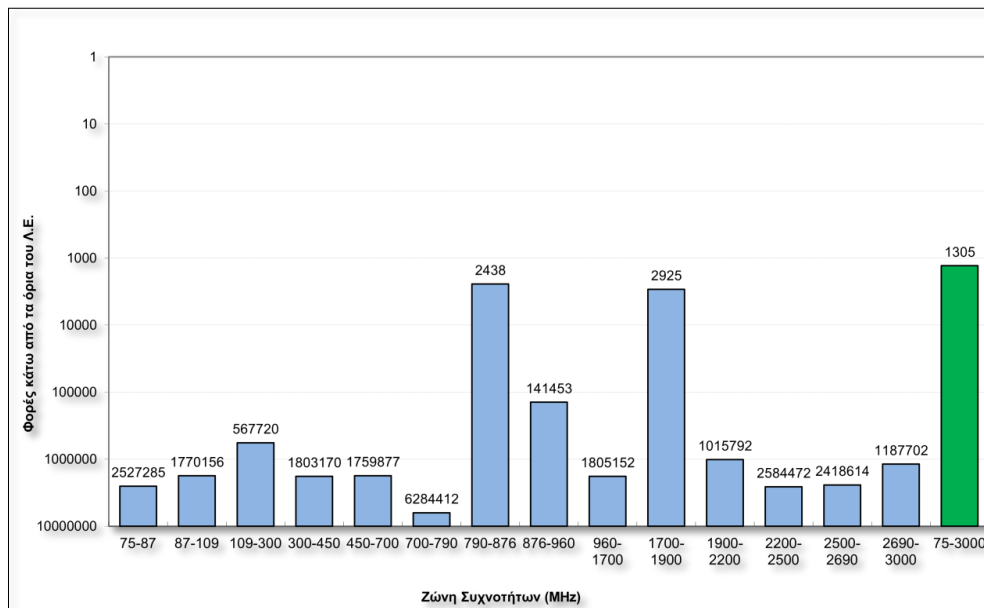
Στη συνέχεια παρουσιάζεται γραφικά σε ένα ραβδόγραμμα ο ΛΕ και η αβεβαιότητα του για κάθε υποπεριοχή του φάσματος που ελέγχθηκε στο συγκεκριμένο σημείο, καθώς και ο ΣΛΕ μαζί με την αβεβαιότητά του. Μια κόκκινη γραμμή δηλώνει το όριο αναφοράς για κάθε υποπεριοχή του φάσματος.



Εικόνα 11 Παράδειγμα ραβδόγραμματος, ο ΛΕ μαζί με την Αβεβαιότητά του σε κάθε υποπεριοχή του φάσματος και ο ΣΛΕ μαζί με την Αβεβαιότητά του που ελέγχθηκε στο πιο επιβαρυνμένο σημείο.

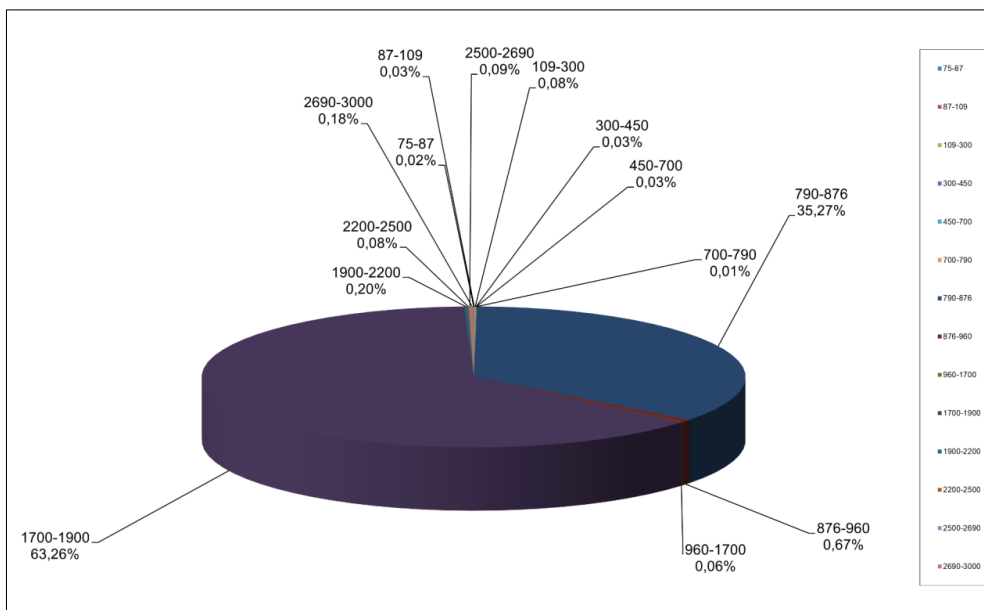
Ακολουθεί το ραβδόγραμμα, που δείχνει τον αριθμό των φορών που η ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση του ΛΕ βρέθηκε κάτω από το αυστηρότερο όριο για συνθήκες θερμικής επίδρασης σε κάθε υποπεριοχή του φάσματος που ελέγχθηκε στο συγκεκριμένο σημείο.

Διπλωματική εργασία: Ανάπτυξη λογισμικού διαχείρισης και αξιοποίησης των δυνατοτήτων του
Επιλεκτικού Μετρητή Ακτινοβολίας SRM-3006



Εικόνα 12 Παράδειγμα, φορές κάτω από το όριο του Λόγου Έκθεσης (ΛΕ) σε κάθε υποπεριοχή του φάσματος που ελέγχθηκε στο πιο επιβαρυνμένο σημείο

Τέλος, παρουσιάζεται γραφικά η ποσοστιαία συνεισφορά κάθε υποπεριοχής του φάσματος στη συνολική ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση της Πυκνότητας Ροής Ισχύος, υπό τις συνθήκες θερμικής επίδρασης, σύμφωνα με τις διατάξεις του Ν. 4635, ΦΕΚ 167/Α/30-10-2019.



Εικόνα 13 Παράδειγμα της Ποσοστιαίας συνεισφοράς της Συνολικής ηλεκτρομαγνητικής Επιβάρυνσης της Πυκνότητας Ροής Ισχύος στο πιο επιβαρυνμένο σημείο

5

Πρότυπο Έκθεσης

Αποτελεσμάτων Μετρήσεων

Ηλεκτρομαγνητικής

Ακτινοβολίας

Το πρότυπο της έκθεσης μου δόθηκε από το Εργαστήριο Συστημάτων Υπολογιστών και Επικοινωνιών του Πανεπιστημίου Αιγαίου. Ακολουθεί μια συνοπτική περιγραφή του περιεχομένου της.

5.1 Η δομή της έκθεσης

Η αναφορά αποτελείται από:

1. Τον σκοπό της έκθεσης
2. Το Γενικό τμήμα της έκθεσης
3. Τα πρότυπα μετρήσεων
4. Το Ειδικό Τμήμα Έκθεσης
5. Τα συμπεράσματα
6. Την Βιβλιογραφία και το
7. Παράρτημα

5.2 Ο σκοπός της έκθεσης

Αναφέρεται ότι ο σκοπός της έκθεσης είναι η παρουσίαση των αποτελεσμάτων από την εκτέλεση μετρήσεων για την αποτύπωση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε έντεκα (11) θέσεις σε κάποια περιοχή και ότι πραγματοποιούνται μετρήσεις με πεδιόμετρο σε συγκεκριμένα σετ μετρήσεων.

5.3 Γενικό τμήμα έκθεσης

Στο Γενικό τμήμα της έκθεσης αναφέρεται η χρονική περίοδο της μέτρησης και τα ονόματα των μηχανικών του Εργαστηρίου Συστημάτων Υπολογιστών και Επικοινωνιών (ΕΣΥΕ), Αποτελείται από τρία (3) μέρη και περιέχει πληροφορίες που περιγράφουν:

1. **Τον εξοπλισμό:** μια σύντομη περιγραφή του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε κατά την εκτέλεση των μετρήσεων και μια συνοπτική περιγραφή των δυνατοτήτων του εξοπλισμού καθώς και αναφορά στα πιστοποιητικά διακρίβωσης που διαθέτει ο εξοπλισμός
2. **Τη μεθοδολογία βάσει προτύπου των μετρήσεων:** αναφορά στο πρότυπο που ακολουθείται καθώς και τις διαδικασίες που προβλέπουν την διενέργεια των μετρήσεων.
3. **Τις θέσεις μετρήσεων:** γίνεται αναφορά στην Περιοχή μέτρησης, στους εγκατεστημένους σταθμούς, στις καιρικές συνθήκες (θερμοκρασία, υγρασία) την χρονική στιγμή της μέτρησης καθώς και παρουσίαση της Περιοχής μέτρησης και το τοπογραφικό διάγραμμα με τα αριθμημένα σημεία μετρήσεων της Η/Μ ακτινοβολίας. Στη συνέχεια αναφέρονται με λεπτομέρεια και για κάθε σημείο μέτρησης σε ποιο γεωγραφικό μήκος, πλάτος και υψόμετρο από την επιφάνεια της θάλασσας πραγματοποιήθηκε η μέτρηση. Τέλος ακολουθούν φωτογραφίες όπου φαίνονται οι ραδιοσταθμοί (και η γύρω περιοχή) αλλά και φωτογραφία του Μετρητικού Εξοπλισμού στην Περιοχή Μέτρησης.

5.4 Πρότυπα Μετρήσεων

Σε αυτό το σημείο της έκθεσης αναφέρονται τα πρότυπα/προδιαγραφές που ακολουθήθηκαν για να γίνουν οι μετρήσεις. Οι μετρήσεις γίνονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές μετρήσεων του Εργαστηρίου Συστημάτων Υπολογιστών και Επικοινωνιών. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στα αποτελέσματα της επεξεργασίας και τα όρια που χρησιμοποιήθηκαν όπως αυτά ορίζονται από την κείμενη Ελληνική Νομοθεσία αλλά και από τη σύσταση του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

5.5 Ειδικό Τμήμα Έκθεσης

Σε αυτό το τμήμα της έκθεσης παρουσιάζονται τα αποτελέσματα με επεξηγηματικό, ειδικευμένο και αναλυτικό τρόπο. Συγκριμένα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σε μορφή κειμένου, πινάκων και διαγραμμάτων όπως αυτά προκύπτουν μετά την επεξεργασία των μετρήσεων. Παρουσιάζονται:

Αποτελέσματα Μετρήσεων Ευρείας Ζώνης: Αναλυτική παρουσίαση αποτελεσμάτων ευρυζωνικών μετρήσεων για την Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου και την Πυκνότητα Ροής Ισχύος

Αποτελέσματα μετρήσεων Στενής Ζώνης: Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου στην περιοχή μέτρησης για τη ζώνη συχνοτήτων 75 – 3000 MHz

Επεξεργασία μετρήσεων:

Ευρυζωνικές μετρήσεις: Αναλυτική παρουσίαση του ΣΛΕ και της Αβεβαιότητας του ΣΛΕ για τις ευρυζωνικές μετρήσεις.

Μετρήσεις επιλεκτικές ως προς τη συχνότητα: Αναλυτική επισκόπηση φάσματος 75MHz - 3GHz για την Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου, την Πυκνότητα Ροής Ισχύος, το ΛΕ και την Αβεβαιότητα του σε κάθε υποπεριοχή του φάσματος

Αποτελέσματα Μετρήσεων:

- Υπολογιζόμενη Πυκνότητα Ροής Ισχύος για κάθε υποπεριοχή του φάσματος στο σημείο X και το αντίστοιχο θερμοθετημένο όριο
- Ο ΛΕ μαζί με την Αβεβαιότητα του σε κάθε υποπεριοχή του φάσματος και ο ΣΛΕ μαζί με την Αβεβαιότητά του που ελέγχθηκε στο σημείο X.
- Φορές κάτω από το όριο του ΛΕ σε κάθε υποπεριοχή του φάσματος που ελέγχθηκε στο σημείο X.
- Ποσοστιαία συνεισφορά της Συνολικής ηλεκτρομαγνητικής Επιβάρυνσης της Πυκνότητας Ροής Ισχύος στο σημείο X.

5.6 Συμπεράσματα

Εδώ αναφέρονται συνοπτικά τα συμπεράσματα λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Τονίζεται αν τηρούνται ή αν δεν τηρούνται τα όρια ασφαλούς έκθεσης του κοινού στο περιβάλλον που ελέγχθηκε και που καθορίζονται από τον Ν. 4635, ΦΕΚ 167/Α/30-10-2019. Επίσης παρουσιάζονται τυχόν σημεία με τις μεγαλύτερες συνεισφορές καθώς και ο ΣΛΕ.

5.7 Βιβλιογραφία

Εδώ αναφέρεται κυρίως το νομοθετικό πλαίσιο και άλλη βιβλιογραφία σχετική με την μέτρηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

5.8 Παράρτημα

Εδώ βρίσκουμε το Πιστοποιητικό βαθμονόμησης του οργάνου μέτρησης.

6

Λογισμικό

6.1 Επιλογή γλώσσας προγραμματισμού

Η επιλογή της γλώσσας προγραμματισμού για την ανάπτυξη μιας εφαρμογής εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως τον τύπο της εφαρμογής, τις απαιτήσεις του έργου, της ευκολίας χρήσης, της αποδοτικότητας, της κοινότητας που υποστηρίζει τη γλώσσα, των προτιμήσεων του προγραμματιστή αλλά και της εμπειρίας τους. Επέλεξα την Python για πολλούς λόγους:

- **Είναι Ευανάγνωστη, Εύκολη στη μάθηση και Ευκολόχρηστη:** Η σύνταξη της Python είναι φιλική προς τον χρήστη και μοιάζει με την φυσική μας γλώσσα, κάτι που την καθιστά εύκολη στην εκμάθηση και στη χρήση. Αυτό της το χαρακτηριστικό με επιτρέπει ως προγραμματιστή να επικεντρωθώ περισσότερο στην λογική και σχεδίαση της εφαρμογής παρά στη σύνταξη του κώδικα.
- **Έχει Ευελιξία και Επεκτασιμότητα:** Η Python υποστηρίζει πολλαπλά παραδείγματα προγραμματισμού, συμπεριλαμβανομένων του δομημένους, τους αντικειμενοστραφούς και του διαδικαστικού προγραμματισμού. Αυτό την καθιστά κατάλληλη για μια ευρεία γκάμα εφαρμογών, από απλές ως πολύπλοκες εφαρμογές, προσφέροντας ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων.
- **Έχει Μεγάλη Κοινότητα και Ενεργή Υποστήριξη:** η Python έχει μια εκτεταμένη και ενεργή κοινότητα χρηστών και πολλές πηγές υποστήριξης. Η κοινότητα της Python παρέχει πληθώρα εργαλείων, βιβλιοθηκών και πλατφόρμων υποστήριξης. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν πολλοί πόροι και βοήθεια σε πολλά επίπεδα για τους προγραμματιστές που χρησιμοποιούν Python. Στην πράξη σημαίνει πως μπορείς να θέσεις τον προβληματισμό σου ή την απορία σου και να λάβεις απάντηση ή σχετική βοήθεια.
- **Διαθεσιμότητα:** Η Python είναι μια ανοιχτού κώδικα γλώσσα, αυτό σημαίνει ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ελεύθερα από οποιονδήποτε και να προσαρμοστεί σε διάφορες ανάγκες.
- **Ισχυρές και Εκτεταμένες Βιβλιοθήκες:** Η python διαθέτει πολλές εκατοντάδες χρήσιμες βιβλιοθήκες για διάφορες εφαρμογές κάτι που επιταχύνει την ανάπτυξη εφαρμογών. Στην περίπτωση της δικής μας εφαρμογής προσφέρει ισχυρές βιβλιοθήκες για τη διαχείριση δεδομένων από διάφορες πηγές. Βιβλιοθήκες όπως οι *xlsxwriter* και *openpyxl* βοήθησαν στην

επεξεργασία και εξαγωγή στοιχείων από τα αρχεία excel. Η *python-docx* επέτρεψε την δημιουργία κειμένου, πίνακες, εικόνων και άλλων στοιχείων σε αρχείο docx.

Η εμπειρία μου με άλλες γλώσσες και οι απαιτήσεις της εφαρμογής σε συγκεκριμένες λειτουργίες και εργαλεία και όλα όσα προανέφερα με οδήγησαν στο συμπέρασμα πως η υλοποίηση της εφαρμογής θα υποστηριζόταν καλύτερα από την Python και έτσι αποτέλεσε την πιο κατάλληλη επιλογή για εμένα.

6.2 Επιλογή περιβάλλοντος υλοποίησης

Η εφαρμογή υλοποιήθηκε σε Anaconda και σε περιβάλλον Jupyter Notepad. Το Anaconda είναι ένα πακέτο διανομής Python που παρέχει ένα πλούσιο σύστημα εργαλείων για υπολογισμούς, ανάλυση δεδομένων και μηχανική μάθηση. Υπάρχουν αρκετοί λόγοι για τους οποίους θεώρησα ότι είναι χρήσιμο να χρησιμοποιήσω την Anaconda για την υλοποίηση της εφαρμογής:

- **Εύκολη Εγκατάσταση και Διαχείριση:** Το Anaconda παρέχει έναν εύκολο τρόπο εγκατάστασης και διαχείρισης της Python καθώς και δεκάδες πακέτα και εργαλεία που συνήθως χρησιμοποιούνται σε επιστημονικούς υπολογισμούς.
- **Διαχείριση Εξαρτήσεων:** Το Anaconda περιλαμβάνει τον διαχειριστή πακέτων conda, ο οποίος επιτρέπει την εύκολη εγκατάσταση, ενημέρωση και διαγραφή πακέτων, καθώς και τη διαχείρισή τους.
- **Εκτεταμένη Κοινότητα:** Το Anaconda έχει μια εκτεταμένη κοινότητα χρηστών και συνεισφερόντων, που παρέχει υποστήριξη και πόρους για την επίλυση προβλημάτων και την εξερεύνηση νέων τεχνολογιών.
- **Προεγκατεστημένα Εργαλεία:** Το Anaconda περιλαμβάνει προεγκατεστημένα πολλά εργαλεία για επιστημονικό υπολογισμό, ανάλυση δεδομένων και μηχανική μάθηση, όπως το Jupyter Notebook, το Spyder και το scikit-learn.
- **Πολυπλατφορμικότητα:** Το Anaconda είναι διαθέσιμο για διάφορες πλατφόρμες, συμπεριλαμβανομένων των Windows, macOS και Linux, προσφέροντας ένα ενιαίο περιβάλλον εργασίας για διάφορες συσκευές.

Συνολικά, το Anaconda είναι μια εξαιρετική επιλογή για επιστημονικούς υπολογισμούς και ανάλυση δεδομένων λόγω της ευκολίας εγκατάστασης, της διαχείρισης εξαρτήσεων και της εκτεταμένης κοινότητας που το υποστηρίζει.

Τα χαρακτηριστικά του εργαλείου Jupyter Notebook που με έκαναν το επιλέξω είναι:

Το Jupyter Notebook είναι δημοφιλές επειδή:

- Επιτρέπει την εκτέλεση κώδικα Python κελί-κελί, βοηθώντας στη διαδραστική ανάπτυξη. Δηλαδή επιτρέπει την εκτέλεση κάθε κομμάτι κώδικα χωριστά και έτσι μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματά τους αμέσως καθώς εξετάζουμε και αναπτύσσουμε το πρόγραμμά μας. Αυτό διευκολύνει τη διαδραστική διαδικασία ανάπτυξης, καθώς μπορούμε να δοκιμάζουμε και να προσαρμόζουμε τον κώδικα κομμάτι-κομμάτι χωρίς την ανάγκη να εκτελέσουμε ολόκληρο το πρόγραμμα κάθε φορά.

- Παρέχει εύκολη οπτικοποίηση δεδομένων με γραφήματα και διαγράμματα.
- Επιτρέπει τη συνύπαρξη κώδικα, εξηγήσεων και αποτελεσμάτων σε ένα μόνο έγγραφο.
- Είναι ευέλικτο, υποστηρίζοντας Markdown για κείμενο και επιτρέποντας πλούσια μορφοποίηση.
- Έχει μια μεγάλη και ενεργή κοινότητα χρηστών και προγραμματιστών που παρέχει υποστήριξη και πρόσθετες λειτουργίες.

6.3 Οδηγίες Εγκατάστασης

Όπως προαναφέρθηκε η εφαρμογή υλοποιήθηκε σε Anaconda [32] και σε περιβάλλον Jupyter notepad [34]. Δημιουργήθηκε ένα περιβάλλον στις οποίες εγκαταστάθηκαν οι βιβλιοθήκες που αναφέρονται στην επόμενη παράγραφο. Χρησιμοποιώντας το εργαλείο conda, τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν στο περιβάλλον του anaconda είναι τα επόμενα:

1. Δημιουργία περιβάλλοντος:
 - `conda create --name docs-env`
2. Ενεργοποίηση / απενεργοποίηση περιβάλλοντος:
 - `conda activate docs-env`
 - `conda deactivate`
3. Εγκατάσταση `xlsxwriter`:
 - `conda install -c conda-forge xlsxwriter`
4. Εγκατάσταση `openpyxl`:
 - `conda install -c anaconda openpyxl`
5. Εγκατάσταση `docx`:
 - `conda install -c conda-forge python-docx`
6. Εγκατάσταση `pyinstaller`:
 - `conda install -c conda-forge pyinstaller`

6.4 Βιβλιοθήκες

Χρησιμοποιήθηκαν οι επόμενες βιβλιοθήκες της python [35]:

- **Xlsxwriter**: Χρησιμοποιείται για εισαγωγή δεδομένων στο excel, είτε σε xls είτε σε xlsx μορφή.
- **Openpyxl**: Βιβλιοθήκη για επεξεργασία αρχείων excel μέσω του Office Open XML format.
- **python-docx**: Επιτρέπει το διάβασμα, γράψιμο και την ενημέρωση docx αρχείων word.
- **win32com**: Επιτρέπει την πρόσβαση σε διάφορα API των Windows, εδώ χρησιμοποιείται για την εξαγωγή των charts των excel.

- **os**: επιτρέπει την πρόσβαση σε λειτουργικότητα του λειτουργικού συστήματος. Δεν απαιτεί κάποια επιπλέον εγκατάσταση, απλά την εισαγωγή του module. Το ίδιο συμβαίνει και με τα επόμενα modules.
- **math**: Περιέχει διάφορες μαθηματικές συναρτήσεις, π.χ.: `sqrt`.
- **statistics**: Ομοίως με την `math` αλλά για στατιστικές συναρτήσεις, π.χ. `stdev`
- **tkinter**: Με την βοήθεια του module αυτού υλοποιείται το παραθυρικό περιβάλλον της εφαρμογής.

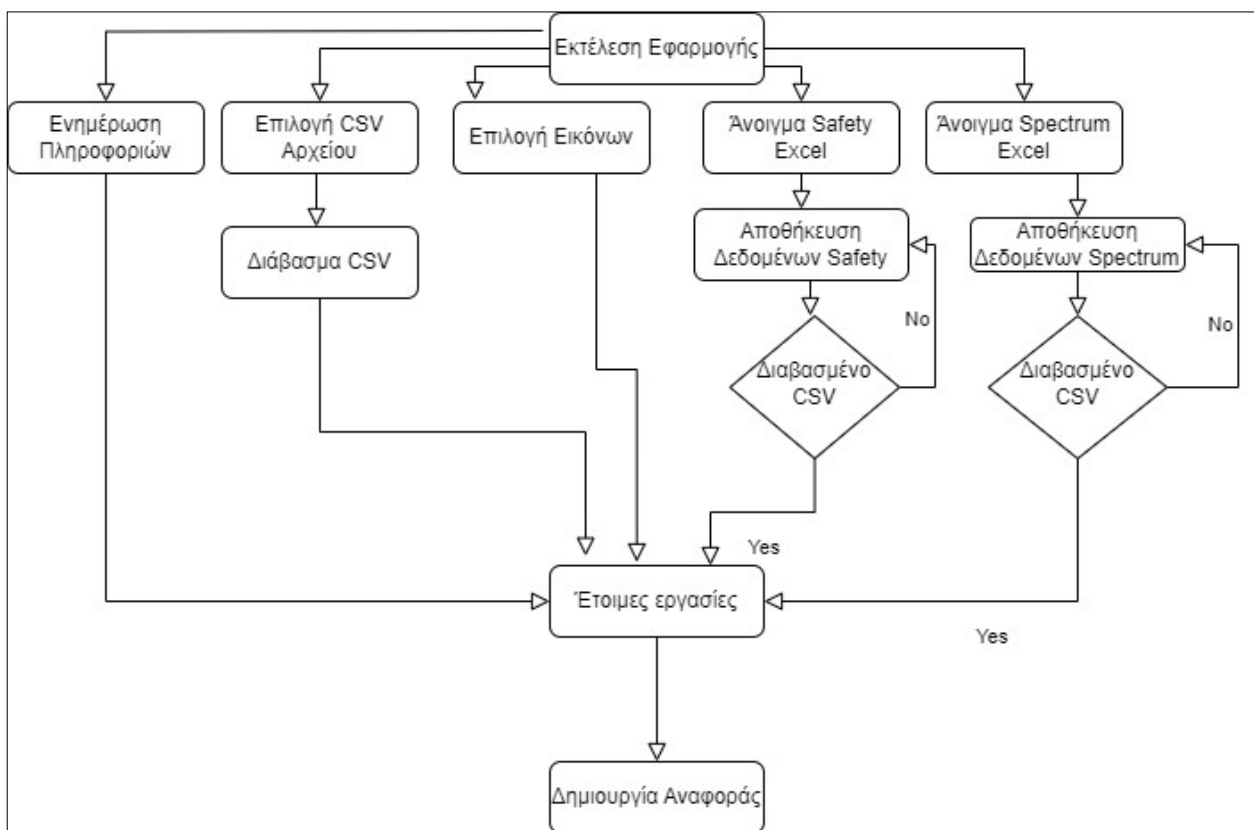
6.5 Υλοποίηση

Το παραθυρικό περιβάλλον της εφαρμογής υλοποιείται στην *main* μέθοδο της *python*. Έχει υλοποιηθεί με *tkinter* και περιλαμβάνει όλες τις επιλογές του χρήστη για την αυτοματοποιημένη δημιουργία του docx κειμένου. Περιλαμβάνει κονσόλα ώστε ο χρήστης να παρατηρεί την πορεία των επιλογών του. Σχετική βοήθεια και εξήγηση των ξεχωριστών λειτουργιών βρίσκεται σε επόμενη ενότητα της παρούσης.

Για την τοποθέτηση των κουμπιών, ετικετών, πεδίων κειμένου της εφαρμογής έγινε χρήση του γραμμικού συστήματος πλέγματος που παρέχει η βιβλιοθήκη. Οι λειτουργίες ομαδοποιήθηκαν σε αντίστοιχα πλέγματα:

- **infogroup**: Παραθέτει σε πλέγμα τις πληροφορίες που θα περαστούν στο έγγραφο Word.
- **imagegroup**: Μία σειρά από κουμπιά και ετικέτες που αφορούν τις εικόνες που επιλέγει ο χρήστης για εμφάνιση στο τελικό έγγραφο κειμένου.
- **csvgroup**: Πλέγμα με μόνο μία σειρά που περιλαμβάνει κουμπί για επιλογή αρχείου CSV και διαβάσματός του καθώς και ετικέτα που δείχνει αν έχει επιλεγεί ή όχι.
- **xlsxgroup**: Πλέγμα δύο σειρών με τις επιλογές των αντίστοιχων αρχείων excel.
- **docxgroup, exitgroup**: Περιλαμβάνουν από ένα κουμπί δημιουργίας εγγράφου και εξόδου από την εφαρμογή.

Ουσιαστικά, όλες οι παραπάνω επιλογές οδηγούν σε κλήσεις κατάλληλων συναρτήσεων. Το κάθε πάτημα κουμπιού, μέσω μίας κατάλληλης *lambda* έκφρασης καλεί κατάλληλα την αντίστοιχη συνάρτηση. Αναλυτικότερη εξήγηση της καθεμίας ακολουθεί. Κάποιες από τις συναρτήσεις που έχουν υλοποιηθεί δεν καλούνται απευθείας μέσω του γραφικού περιβάλλοντος αλλά είναι επικουρικές στις υπόλοιπες. Όλες οι λειτουργίες δεν έχουν συγκεκριμένη χρονική συνέχεια στο πώς θα καλεστούν από τον χρήστη. Παράδειγμα μπορεί πρώτα να διαβάσει το CSV αρχείο και στην συνέχεια να ενημερώσει τις πληροφορίες τοποθεσίας κτλ. Παραθέτονται εδώ όμως με μία φυσιολογική χρονική σειρά που απεικονίζεται και στο διάγραμμα ροής που ακολουθεί.



Εικόνα 14 Διάγραμμα ροής της εφαρμογής

Οι επόμενες συναρτήσεις καλούνται από το παραθυρικό περιβάλλον ανάλογα με την ενέργεια του χρήστη:

updateInfo

Ενημέρωση πληροφοριών ημερομηνίας, έτους, τοποθεσίας κ.ο.κ. Λόγω του ότι όλα αυτά τα στοιχεία θα πρέπει να αποθηκευτούν στο έγγραφο, τίθενται όλα ως *global* μεταβλητές, ώστε οι επιλογές του χρήστη να είναι ορατές και στη συνάρτηση *createDocx*. Ουσιαστικά, κάθε σχετικό πεδίο κειμένου που βρίσκεται στο *infogroup* δίνει την αντίστοιχη πληροφορία. Σχετική ανάδραση δίνεται στον χρήστη μέσω της κονσόλας.

➤ Διάβασμα CSV αρχείου

readCSVFile

Διαβάζει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες από το επιλεγμένο CSV. Εφόσον έχει αυτό επιλεγεί και έχει την προαπαιτούμενη μορφή, διαβάζεται ανά γραμμή και εξάγεται η χρήσιμη πληροφορία που θα εισαχθεί σε επόμενο βήμα στο excel και στο word.

Το αρχείο CSV θα πρέπει να έχει συγκεκριμένη μορφή και τα δεδομένα του να είναι χωρισμένα με «;». Οι τιμές που διαβάζονται μετατρέπονται σε πραγματικούς ώστε να αναγνωρίζονται από την Python και αποθηκεύονται σε κατάλληλες δομές για επεξεργασία σε επόμενες συναρτήσεις.

Εφόσον κάθε γραμμή διαβάζεται ξεχωριστά, $line = file.readline()$, και «σπάει» σε μια λίστα στους χαρακτήρες «;», $L = line.split(';')$, γίνεται έλεγχος για τις γραμμές που υπάρχει η χρήσιμη πληροφορία. Γραμμές που αρχίζουν από *Total Value [V/m]* για την τιμή ή *Altitude [m]* για το υψόμετρο κ.ο.κ. Σημαντικό είναι να ελεγχθούν αν τα στοιχεία είναι τύπου Safety ή Spectrum. Ανάλογα τον τύπο οι τιμές αποθηκεύονται στις αντίστοιχες λίστες, *safetyfreqs* και *spectrumfreqs*.

Φυσικά, για να διαβαστεί το αρχείο CSV πρέπει πρώτα να επιλεγεί από τον χρήστη, κάτι που ισχύει και για τα υπόλοιπα αρχεία όπως αναλύεται στην συνέχεια

openImageFile, openCSVFile, openSafetyFile, openSpectrumFile

Οι παραπάνω συναρτήσεις είναι βοηθητικές συναρτήσεις του παραθυρικού περιβάλλοντος για άνοιγμα αρχείων φωτογραφίας, αρχείου CSV και safety και spectrum αρχείων xlsx. Για κάθε μία, η επιλογή του χρήστη αποθηκεύεται σε μία global μεταβλητή και υπάρχει αντίστοιχη ενημέρωση στην κονσόλα του παραθυρικού περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα η συνάρτηση openImageFile δέχεται και τον αύξον αριθμό της εικόνας που πρόκειται να επιλεγεί από τον χρήστη. Μετά τις κλήσεις των openSafetyFile, openSpectrumFile, readCSVFile μπορούν να καλεστούν οι saveToXlsxSafety, saveToXlsxSpectrum για επεξεργασία των excel αρχείων.

➤ **Αποθήκευση σε Excel**

getHzList

Βοηθητική συνάρτηση η οποία από μία λίστα συχνοτήτων δημιουργεί λίστα με τα ονόματα των φύλλων εργασίας του xlsx spectrum αρχείου:

```
['75-87MHz', '87-109MHz', '109-300MHz', '300-450MHz', '450-700MHz', '700-790MHz',  
'790-876MHz', '876-960MHz', '960-1700MHz', '1700-1900MHz', '1900-2200MHz', '2200-  
2500MHz', '2500-2690MHz', '2690-3000MHz']
```

saveToXlsxSafety,

Εφόσον έχει επιλεγεί το safety αρχείο και έχει εισαχθεί η πληροφορία από το CSV, αυτή θα πρέπει να εισαχθεί στο αντίστοιχο Excel. Επιλέγονται τα αντίστοιχα φύλλα εργασίας, το Data Safety,

```
ws1=wb['Data_Safety']
```

Περιέχει τα ίδια δεδομένα με το σημείο με τη μεγαλύτερη μέση τιμή των τιμών καθώς και τα αντίστοιχα σημεία μέτρησης. Το κάθε τέτοιο σημείο καταλαμβάνει και ένα φύλλο εργασίας του Excel.

```
for index in range(len(safetyfreqs)):  
    ws1=wb['Σημείο '+str(index+1)]  
    freqs = safetyfreqs[index]  
    for i in range(len(freqs)):  
        ws1.cell(row=i+2,column=5).value=float(freqs[i].replace(',','.'))  
        ws1.cell(row=i+2,column=6).value=float(freqs[i].replace(',','.'))  
        ws1.cell(row=i+2,column=7).value=float(freqs[i].replace(',','.'))  
    i+=1
```

```
ws1.cell(row=i+2,column=5).value=totalvalues[index]  
ws1.cell(row=i+2,column=6).value=totalvalues[index]  
ws1.cell(row=i+2,column=7).value=totalvalues[index]  
wb.save(safetypath)
```

Όπως σε κάθε αντίστοιχη μέθοδο, η κονσόλα του παραθυρικού περιβάλλοντος ενημερώνει για την επιτυχή ή μη έκβαση της διαδικασίας.

saveToXlsxSpectrum

Αντίστοιχα με το safety αρχείο, εάν έχει επιλεγεί το spectrum αρχείο και έχουν εισαχθεί τα δεδομένα από το CSV, θα πρέπει να εισαχθούν με κατάλληλο τρόπο στο xlsx αρχείο.

Για το spectrum τα φύλλα εργασίας με τις συχνότητες, 75-87MHz, 87-109MHz κ.ο.κ. θα πρέπει να πάρουν τις τιμές της λίστας *spectrumfreqs* που προέκυψε από το διάβασμα του CSV και περιλαμβάνει την λίστα τιμών για κάθε μία από τις συχνότητες. Τα ονόματα των φύλλων προκύπτουν από την βοηθητική συνάρτηση *getHzList()*.

```
srm_sheetlist = getHzList()  
for index in range(len(srm_sheetlist)):  
    ws1=wb[srm_sheetlist[index]]  
    freqs = spectrumfreqs[index]  
    for i in range(len(freqs)):  
        ws1.cell(row=i+1,column=2).value=float(freqs[i].replace(',','.'));  
    wb.save(spectrumpath)
```

makeArraysSpectrum

Εφόσον τα δεδομένα που έχουν εξαχθεί από το CSV αρχείο μέσω της συνάρτησης *readCSVFile* και έπειτα έχουν καταχωρηθεί στα αρχεία excel μέσω των συναρτήσεων *saveToXlsxSafety*, *saveToXlsxSpectrum* θα πρέπει να εξαχθεί κατάλληλη πληροφορία για εμφάνιση στους πίνακες του docx αρχείου.

Τα αποτελέσματα των διάφορων συναρτήσεων που έχουν υλοποιηθεί στα κελιά του excel δεν μπορούν να εξαχθούν ως έχουν από αυτό. Έτσι οι συναρτήσεις αυτές υλοποιούνται εκ νέου στην Python. Λίστες που γεμίζουν τους πίνακες και τιμές που εμφανίζονται στο docx αρχείο υπολογίζονται χρησιμοποιώντας αντίστοιχες εκφράσεις και συναρτήσεις της python.

Αρχικά, λίστες τιμών και μεμονωμένες τιμές που απαιτείται να καταχωρηθούν στο έγγραφο της έκθεσης τίθενται ως *global* μεταβλητές ώστε οι τιμές να κρατηθούν για την καταχώρισή τους. Έπειτα ανοίγει το σχετικό αρχείο excel που υποδεικνύει το *path* που έχει ήδη τεθεί από τον χρήστη. Διαβάζονται οι στήλες τιμών που δεν περιλαμβάνουν υπολογισμούς, αρχικά τα κελιά I2 έως I15 που αφορούν «Όρια αναφοράς Έντασης Ηλεκτρικού Πεδίου» και τα κελιά J2 έως J15 με τα «Όρια αναφοράς Έντασης Μαγνητικού Πεδίου». Από τα κελιά K2 έως K15 τα «Όρια αναφοράς Πυκνότητας Ροής Ισχύος». Στις δύο τελευταίες λίστες, οι μεσαίες τιμές, από 6 έως και 12 προκύπτουν μέσω συναρτήσεων από τα κελιά B6 έως B12 αντίστοιχα.

```
for row in worksheet['J2:J5']:  
    for cell in row:  
        Hlim60.append(float(cell.value))
```

```
for row in worksheet['B6:B12']:  
    for cell in row:  
        Hlim60.append(round(0.00287*math.sqrt(cell.value),4))  
for row in worksheet['J13:J15']:  
    for cell in row:  
        Hlim60.append(float(cell.value))  
for row in worksheet['K2:K5']:  
    for cell in row:  
        Slim60.append(float(cell.value))  
for row in worksheet['B6:B12']:  
    for cell in row:  
        Slim60.append(round(cell.value/333,1))  
for row in worksheet['K13:K15']:  
    for cell in row:  
        Slim60.append(float(cell.value))
```

Η στήλη της έντασης ηλεκτρικού πεδίου προκύπτει από την επόμενη συνάρτηση του excel:

=SQRT(SUMSQ(E2:G2)/3)

Η παραπάνω συνάρτηση υπολογίζεται αφού διαβαστούν οι τιμές των στηλών E, F και G

Hs = []

```
for j in range(len(Es)):
```

```
    Hs.append(math.sqrt((Es[j]**2+Fs[j]**2+Gs[j]**2)/3))
```

Ο λόγος έκθεσης υπολογίζεται από την μέση τιμή των λόγων έκθεσης στις στήλες I, M, N.

Στην συνέχεια η συνάρτηση στο excel και ο αντίστοιχος κώδικας.

=AVERAGE(L2:N2)

Os = []

```
for j in range(len(Ls)):
```

```
    Os.append((Ls[j]+Ms[j]+Ns[j])/3)
```

Η αβεβαιότητα τύπου A δίνεται από την επόμενη συνάρτηση στο excel:

=1,32/SQRT(3)*SQRT(STDEV(L7:N7)^2+B31^2)

Για να υπολογιστεί στην python χρησιμοποιείται η βιβλιοθήκη statistics και η μέθοδος stdev

Ps = []

```
for j in range(len(Ls)):
```

```
    Ps.append(1.32/math.sqrt(3)*math.sqrt(statistics.stdev([Ls[j],Ms[j],Ns[j]])**2+B31**2))
```

Η συνδυαστική αβεβαιότητα στη στήλη U, υπολογίζεται ως εξής: =SQRT(P2^2+R2^2+T2^2)

Us = []

```
for j in range(len(Ps)):
```

```
Us.append(math.sqrt(Ps[j]**2+Rs[j]**2+Ts[j]**2))
```

Στην ίδια συνάρτηση υπολογίζονται, εκτός από τις λίστες που αφορούν τιμές σε διάφορες ζώνες συχνοτήτων, και μεμονωμένες τιμές που απαιτούνται από την αναφορά. Συγκεκριμένα, υπολογίζονται ο Συνολικός Λόγος Έκθεσης, κελί I29, η αβεβαιότητα της μέτρησης, κελί K29 οι τιμές ανάμεσα στις οποίες κυμαίνεται ο συνολικός λόγος έκθεσης, κελιά I30 και I31.

➤ Δημιουργία αρχείων γραφημάτων

createCharts

Δέχεται όνομα αρχείου, αριθμό κελιών, πρόθεμα αρχείου και δημιουργεί αρχεία png στον υποφάκελο charts για κάθε chart του excel. Αν δεν υπάρχει ο υποφάκελος, τον δημιουργεί κάνοντας χρήση της βιβλιοθήκης os. Με τη βοήθεια του module win32com εξάγει τις γραφικές παραστάσεις. Για να ξεχωρίζουν μεταξύ τους τα γραφήματα χρησιμοποιείται ξεχωριστό πρόθεμα για τα safety και spectrum αντίστοιχα.

Αν η σειρά γίνει διαφορετικά εμφανίζεται στην κονσόλα μήνυμα λάθους ενώ αν γίνει επιτυχώς εμφανίζεται ένα ένα τα μηνύματα για κάθε επιτυχή δημιουργία αρχείων. Η συγκεκριμένη λειτουργία έχει μία σχετική καθυστέρηση λόγω του συνδυασμού ανοίγματος αρχείου excel και αποθήκευσης στον σκληρό δίσκο του αρχείου.

```
excel = win32com.client.Dispatch("Excel.Application")
workbook = excel.Workbooks.Open(filepath)
for c in charts:
    sheet = workbook.Sheets(c)
    # Επανάληψη στα σχήματα της εικόνας ώστε να βρεθεί το chart
    chart = None
    for shape in sheet.Shapes:
        if shape.HasChart:
            chart = shape.Chart
            break
    img_relative_path = 'charts/'+prefix+'chart_image'+str(c)+'.png'
    img_file_path = os.path.join(current_directory, img_relative_path)
    if chart:
        # Save the chart as an image file
        chart.Export(img_file_path)
        command = "Chart from sheet number "+str(c)+" saved as "+img_relative_path
        console.insert(tk.END, f">> {command}\n")
    else:
        command = "Chart from sheet number "+str(c)+" not found"
        console.insert(tk.END, f">> {command}\n")
```

Τα φύλλα εργασίας που περιλαμβάνουν γραφήματα τίθενται πριν τις επόμενες συναρτήσεις getChartsSafety, getChartsSpectrum που καλούν κατάλληλα την παρούσα.

getChartsSafety, getChartsSpectrum

Αντίστοιχες συναρτήσεις που καλούν κατάλληλα της createCharts για εξαγωγή charts από τα επιλεγμένα safety και spectrum excel. Αρχικά, ελέγχεται ότι τα αρχεία έχουν επιλεγεί. Σε διαφορετική περίπτωση ο χρήστης ενημερώνεται με αντίστοιχο μήνυμα λάθους.

Στη συνέχεια θα πρέπει να τεθούν οι αύξοντες αριθμοί των φύλλων εργασίας στα οποία υπάρχουν τα γραφήματα, κάτι που γίνεται με το πέρασμα ως παραμέτρου κατάλληλης λίστας με αύξοντες αριθμού αντίστοιχα για το κάθε φύλλο εργασίας. Μία ακόμη παράμετρος, πέρα από το σχετικό *path* του κάθε επιλεγμένου αρχείου είναι το πρόθεμα που ξεχωρίζει τα γραφήματα σε *safety* και *spectrum*.

```
echarts = [2,4,6,8,10,12,14]
prefix = 'E'
createCharts(safetypath,echarts,prefix)

και

srmcharts = [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14]
prefix = 'SRM'
createCharts(spectrumpath,srmcharts,prefix)
```

➤ Δημιουργία Εγγράφου

Οι μέθοδοι που ακολουθούν αφορούν την δημιουργία του εγγράφου έκθεσης και πρέπει να ακολουθούν τις κλήσεις όλων των προηγούμενων συναρτήσεων. Η αναφορά περιλαμβάνει μία σειρά από πίνακες με είτε σταθερές είτε τιμές που παίρνονται από το Excel ή το CSV. Πολλές είναι οι τιμές που υπολογίζονται μέσα από μαθηματικές συναρτήσεις. Οι συναρτήσεις αυτές υπολογίζονται ξανά προγραμματιστικά λόγω του ότι δεν υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής υπολογισμένων τιμών από το excel. Οι υπολογισμοί επιτυγχάνονται με τη βοήθεια των βιβλιοθηκών *math* και *stats* της Python.

centralizedTable3, centralizedTable, centralizedTable6

Η δημιουργία των πινάκων του word έχουν υλοποιηθεί σε ξεχωριστές συναρτήσεις. Σε αυτές έχουν ομαδοποιηθεί οι πίνακες που έχουν παρόμοια δομή. Η πρώτη συνάρτηση, *centralizedTable3*, δημιουργεί τον Πίνακα 3. Η *centralizedTable* τους πίνακες 1, 2, 4 και 5 και η *centralizedTable6* τους πίνακες 6-1 έως και 6-xx όπου xx ο αριθμός των σημείων μέτρησης. Κάποια από τα στοιχεία των πινάκων θεωρούνται δεδομένα και έχουν περαστεί σαν σταθερές στον κώδικα ενώ άλλα έχουν εξαχθεί από το excel και τους διάφορους υπολογισμούς.

Όλοι οι πίνακες, ξεκινούν με μία γραμμή τίτλου όπου ο αριθμός των στηλών είναι ίσος με το μήκος της κάθε γραμμής δεδομένων.

```
table = document.add_table(rows=1, cols=len(data[0]))
```

Όλοι οι πίνακες περιλαμβάνουν όριο.

```
table.style = 'Table Grid'
```

Τέλος, συχνά κάποια κελιά των πινάκων για να επιτευχθεί η επιθυμητή όψη τους πρέπει να συγχωνευτούν.

```
bold_cell.font.bold = True
```

```
start_cell = table.cell(0, 1)
```

```
end_cell = table.cell(1, 1)
```

```
start_cell.merge(end_cell)
```

centralizedShape

Το κείμενο περιέχει διάφορες εικόνες και σχήματα τα οποία προσθέτονται στο έγγραφο κειμένου με παρόμοιο τρόπο. Με δεδομένη διαδρομή αρχείου ανάλογα με την επιλογή του χρήστη όταν πρόκειται για εικόνες, ή από συγκεκριμένο φάκελο όταν πρόκειται για διαγράμματα. Όλα περιλαμβάνουν αντίστοιχη λεζάντα που περιγράφει το σχήμα ή την εικόνα.

```
if isshape:
```

```
    document.add_picture('charts/'+name, width=docx.shared.Inches(size))
```

```
else:
```

```
    document.add_picture(name, width=docx.shared.Inches(size))
```

```
    p = document.paragraphs[-1] # παίρνει την τελευταία παράγραφο (εικόνα) για να την  
κεντράρει
```

```
    p.alignment = 1 # center alignment
```

```
    if isshape:
```

```
        caption = 'Σχήμα '+str(num)+'': '+caption
```

```
    else:
```

```
        caption = 'Εικόνα '+str(num)+'': '+caption
```

```
    p = document.add_paragraph(caption, style='Caption')
```

```
    p = document.paragraphs[-1]
```

```
    p.alignment = 1 # center alignment
```

```
    run = p.runs[0]
```

```
    run.bold = True
```

createHeader

Προσθέτει header στο docx αρχείο. Το *header* δημιουργείται σε ένα συγκεκριμένο τμήμα του εγγράφου.

```
section = document.sections[0]
```

```
header = section.header
```

Περιέχει τίτλο και όχι αριθμό σελίδας που θα πρέπει να περαστεί κάνοντας σε δεύτερο χρόνο το λογισμικό εγγράφου κειμένου με το οποίο θα ανοιχτεί η αναφορά.

createFooter

Προσθέτει footer στο docx. Δημιουργείται σε συγκεκριμένο τμήμα του εγγράφου αντίστοιχα με το header.

```
section = document.sections[0]
```

```
footer = section.footer
```

Το footer περιλαμβάνει έναν πίνακα με κωδικό εγγράφου, λογότυπο κ.ο.κ.

```
table = footer.add_table(rows=3, cols=3, width=Cm(16))
```

createDocx

Καλώντας και τις παραπάνω μεθόδους δημιουργεί το τελικό docx έγγραφο αφού έχουν περαστεί όλες οι παράγραφοι και οι τίτλοι και υπότιτλοι. Πριν δημιουργηθεί το έγγραφο, ελέγχεται ότι έχουν γίνει όλες οι προαπαιτούμενες εργασίες, έχουν δηλαδή επιλεγεί και διαβαστεί/γραφτεί το CSV τα xlsx αρχεία και οι εικόνες. Το κείμενο είναι χωρισμένο με επικεφαλίδες και σε παραγράφους. Περιλαμβάνει διάφορους πίνακες και γραφήματα τα οποία δημιουργούνται με κατάλληλη κλήση των παραπάνω συναρτήσεων.

Συνολικά, όλες οι παράγραφοι του κειμένου έχουν διάστιχο 1.5, στοίχιση πλήρης, γραμματοσειρά tahoma μεγέθους 10.

```
p = document.add_paragraph(...)
p.paragraph_format.line_spacing = 1.5 # line-spacing: 1.5
run = p.runs[0] # change font
run.font.name = font
run.font.size = Pt(fontsize)
```

Κάθε κεφαλίδα χωρίζεται με αλλαγή σελίδας από το προηγούμενο περιεχόμενο και εισάγεται ως κεφαλίδα ώστε να υπάρχει η δυνατότητα εύκολης εισαγωγής στο τελικό έγγραφο έκθεσης.

```
document.add_page_break()
document.add_heading(str(heading)+'.'+headings[heading-1], level=1)
```

Πέρα από κεφαλίδες επιπέδου 1 το κείμενο περιέχει και διάφορες κεφαλίδες επιπέδου 2 όπως στο επόμενο παράδειγμα.

```
document.add_heading(str(heading)+'.'+str(subheading)+'.'+' '+subheadings4[subheading-1],
level=2)
```

Τέλος, περιέχονται και κεφαλίδες επιπέδου 3.

```
document.add_heading(str(heading)+'.'+str(subheading)+'.'+str(subsubheading)+'.'+
'+subheadings43[subsubheading-1], level=3)
```

Όλες οι κεφαλίδες, όλων των επιπέδων έχουν καταχωρηθεί σε λίστες της Python για καλύτερη διαχείρισή τους.

Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στην απόδοση αριθμών κινητής υποδιαστολής της Python στο Word. Πώς δηλαδή, μπορεί να αποδοθεί ένας αριθμός που πρέπει να έχει την μορφή $3,17 \times 10^{-4}$ αλλά για την Python είναι ένας απλός αριθμός τύπου float.

```
run = p.add_run('3,17')
run.bold = True
run = p.add_run('\u00D7')
run = p.add_run('10')
run.bold = True
run = p.add_run('-4')
run.bold = True
run.font.superscript = True
```

6.6 Παραθυρικό Περιβάλλον Χρήστη

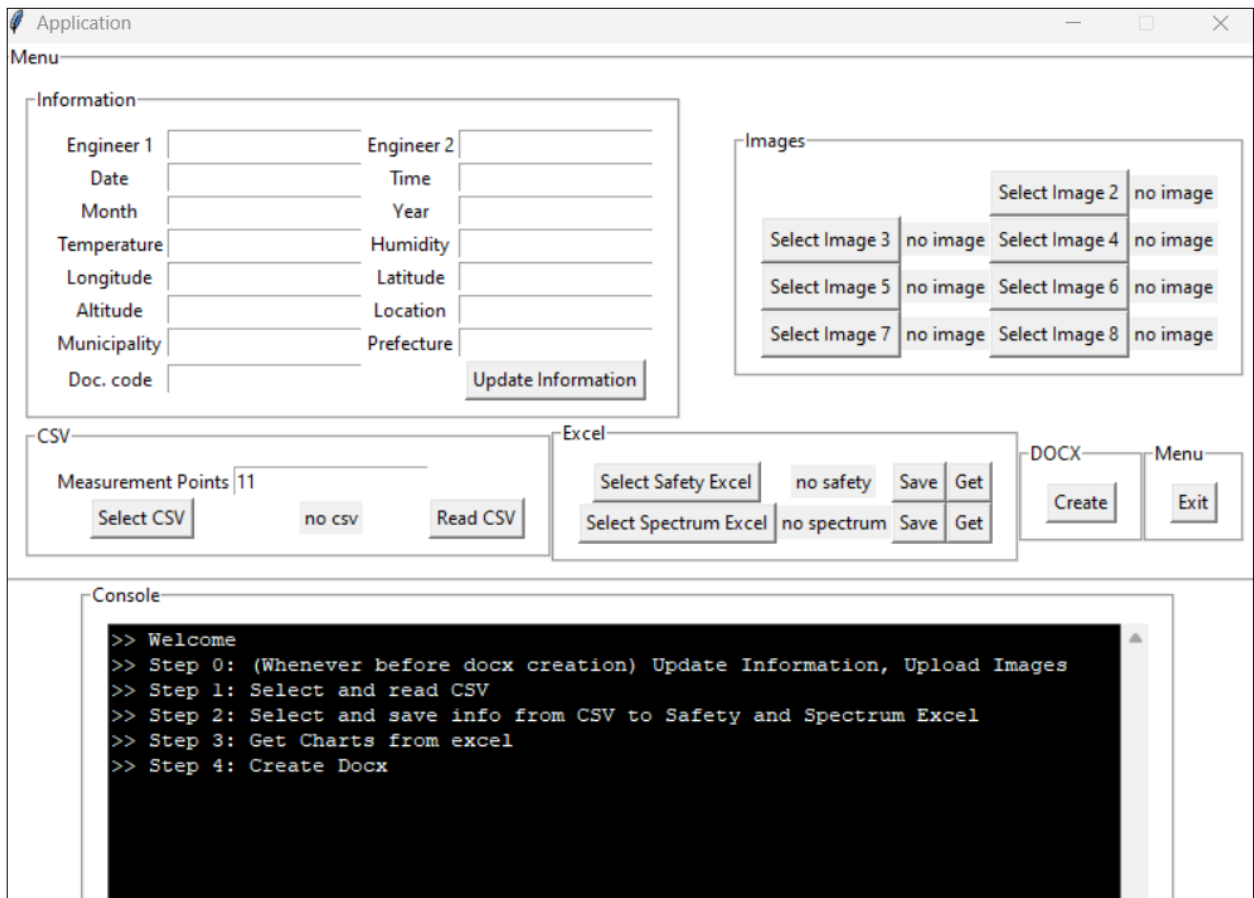
Η αρχική εικόνα της εφαρμογής περιέχει όλο το πλήθος πληροφοριών και εγγράφων που θα πρέπει να συμπληρώσει ή να εισάγει ο χρήστης προκειμένου να δημιουργηθεί μια ολοκληρωμένη έκθεση. Στην Εικόνα που ακολουθεί παρατηρούμε ότι στο παράθυρο προβολής μηνυμάτων παραθέτονται τα βήματα που θα πρέπει να ακολουθήσει ο χρήστης.

Διπλωματική εργασία: Ανάπτυξη λογισμικού διαχείρισης και αξιοποίησης των δυνατοτήτων του

Επιλεκτικού Μετρητή Ακτινοβολίας SRM-3006

Η αρχική οθόνη (**Menu**) της εφαρμογής αποτελείται από 6 κύρια πλαίσια:

Information, CSV, Images, Excel, DOCX και Menu, καθώς και ένα **Console** (μία κονσόλα).



Εικόνα 15 Η αρχική εικόνα της εφαρμογής

- Information -

Το πλαίσιο Information αποτελείται από 15 πεδία εισαγωγής δεδομένων από τον χρήστη και ένα button. Ο χρήστης καλείται να συμπληρώσει ένα πλήθος πληροφοριών οι οποίες μεταβάλλονται κάθε φορά που η εφαρμογή χρησιμοποιείται για διαφορετική μέτρηση.

Ο χρήστης καλείται να εισαγάγει δεδομένα που αφορούν:

Information	
Engineer 1	Engineer 2
Date	Time
Month	Year
Temperature	Humidity
Longitude	Latitude
Altitude	Location
Municipality	Prefecture
Doc. code	
Update Information	

Εικόνα 16 Το πλαίσιο Information, χωρίς δεδομένα από τον χρήστη

- τα ονόματα των βοηθών μηχανικών που κάνουν τις μετρήσεις (**Engineer 1 , Engineer 2**),
- την χρονική στιγμή της μέτρησης (**date, time**)
- την ημερομηνία σύνταξης της έκθεσης (**month, year**)
- τη θερμοκρασία (**temperature**)
- την υγρασία (**Humidity**) που επικρατεί στην τοποθεσία της μέτρησης και
- τις γεωγραφικές συντεταγμένες, γεωγραφικό πλάτος και μήκος καθώς και υψόμετρο τοποθέτησης του SRM (**Longitude, Latitude, Altitude**).
- Επίσης δέχεται τα δεδομένα των ονομάτων
- της τοποθεσίας (**location**)
- του δήμου (**municipality**) και
- του νομού (**prefecture**)

Τέλος εισάγεται ο κωδικός εγγράφου (στο **doc. Code**). Ένας κωδικός που αντιπροσωπεύει την αναφορά που θα παραχθεί.

Η εισαγωγή των άνω δεδομένων στην εφαρμογή ώστε να τυπωθούν στην αναφορά γίνεται με το button **Update Information** και η εφαρμογή μας ενημερώνει ότι όλες οι πληροφορίες αποθηκεύτηκαν σωστά

Information			
Engineer 1	Βολακάκη Μαρία	Engineer 2	Γιάννης Παπαϊωάννου
Date	30/09/2022	Time	08:00- 11:00
Month	Νοέμβριος	Year	2022
Temperature	22	Humidity	60
Longitude	37 10' 58.4" N	Latitude	26 48' 11.15" E
Altitude	11	Location	Αερολιμένας Λέρου
Municipality	Λέρου	Prefecture	Δωδεκανήσων
Doc. code	ΟΔΡΟΜΙΟ.30-09-2022		
<button>Update Information</button>			

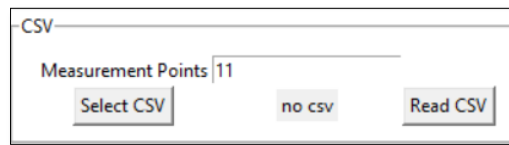
Εικόνα 17 Το πλαίσιο Information, χωρίς δεδομένα από τον χρήστη

```
>> Update Information:
>> Location Set: Αερολιμένας Λέρου Prefecture:Δωδεκανήσων Municipality:Λέρου
>> Coordinates\Altitude Set: Longitude:37 10' 58.4" N Latitude:26 48' 11.15" E
Altitude:11
>> Date Set: 30/09/2022 Time Set: 08:00- 11:00
>> Month Set: Νοέμβριος Year Set: 2022
>> Engineers set: Βολακάκη Μαρία, Γιάννης Παπαϊωάννου
>> Climate Set: Temperature:22 Humidity: 60
>> Document code set: M11.ΠΕΔΙΟΝ24.ΛΕΡΟΣ.ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ.30-09-2022
```

Εικόνα 18 Εμφάνιση μηνυμάτων στην κονσόλα όταν συμπληρώνονται δεδομένα

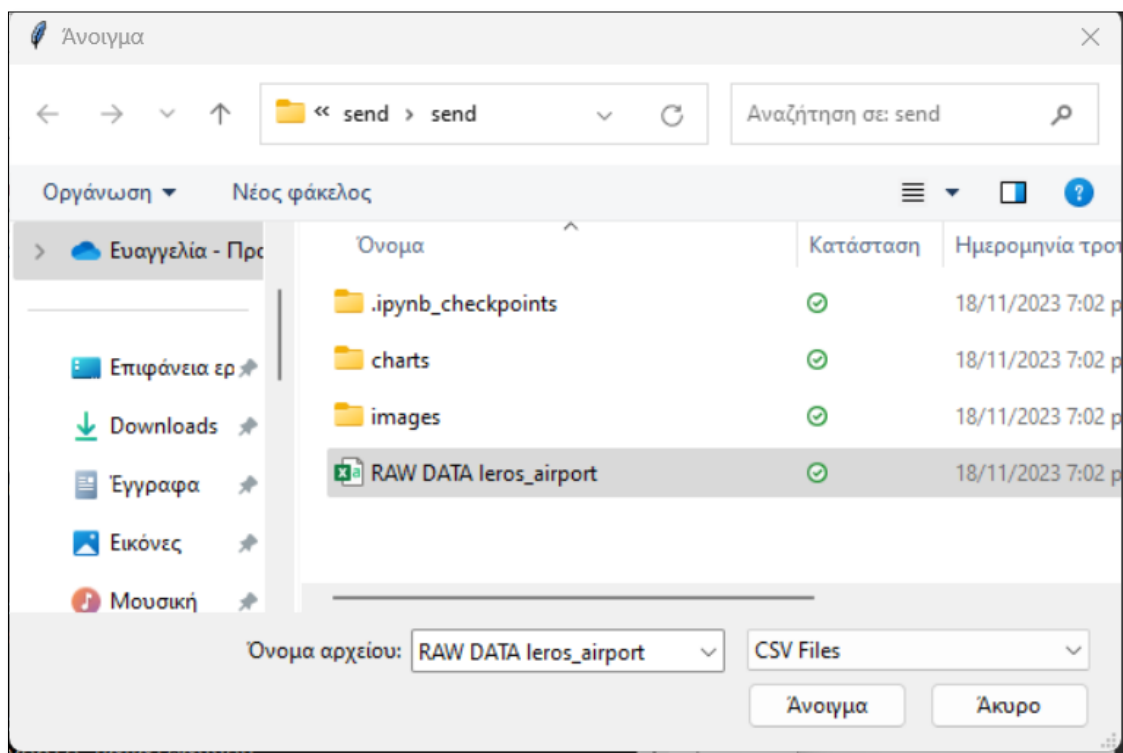
- CSV -

Το Πλαίσιο CSV αποτελείται από ένα πεδίο εισαγωγής δεδομένων από τον χρήστη (Measurements Points) και δυο (2) button:



Εικόνα 19 Το πλαίσιο CSV

1. Στο πεδίο **Measurements Points** ο χρήστης καλείται να εισαγάγει τον αριθμό σημείων μετρήσεων και στην συνέχεια
2. Μέσω του button **Select CSV** δίνει εντολή για επιλογή του αρχείου CSV (που είναι το αρχείο που παράγει το εργαλείο μέτρησης SRM) και περιέχει τις μετρήσεις όλων των σημείων που έγιναν σε κάποια περιοχή
3. Ο χρήστης επιλέγει το κατάλληλο αρχείο από τον υπολογιστή του και στην συνέχεια



Εικόνα 20 Επιλογή κατάλληλου αρχείου από τον Η/Υ

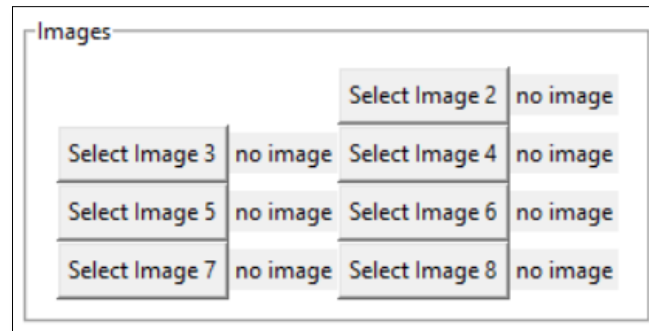
4. με το button **Read CSV** γίνεται η εισαγωγή των μετρήσεων του CSV αρχείου στην εφαρμογή για περεταίρω επεξεργασία.

```
>> Opening CSV file RAW DATA leros_airport.csv
>> Start reading file RAW DATA leros_airport.csv...
>> Measurement Points:11
>> Altitudes:11
>> Finish reading file RAW DATA leros_airport.csv. Points:11 Max Point:2...
```

Εικόνα 21 Εμφάνιση μηνυμάτων στην κονσόλα από το άνοιγμα του αρχείου

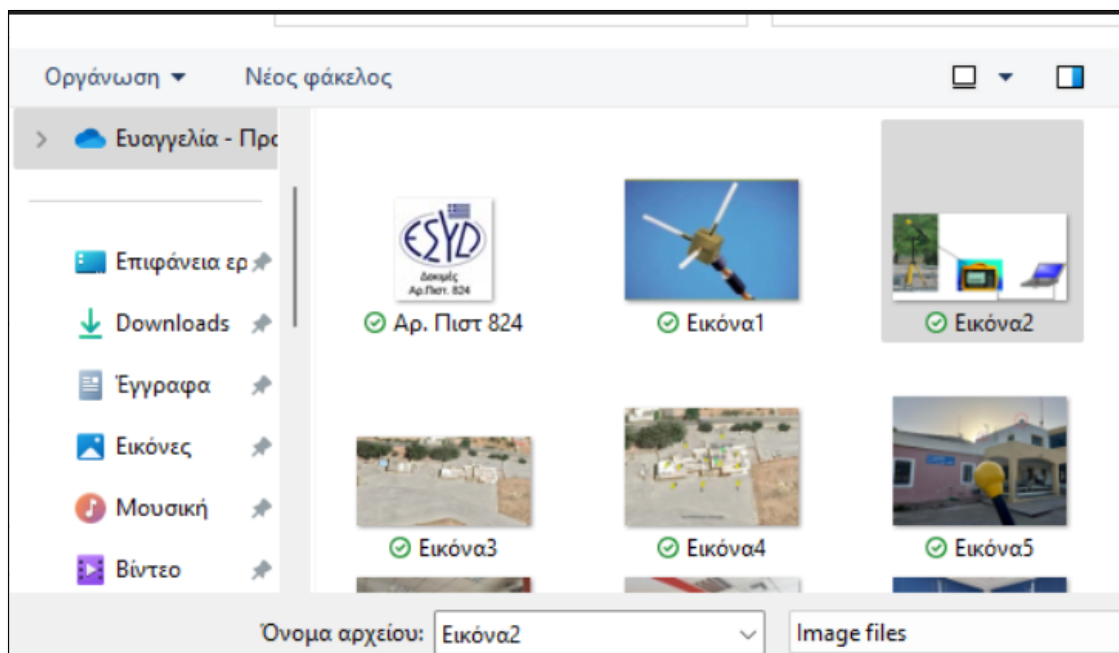
- Images -

Το πλαίσιο Images έχει ως σκοπό τις επιλογές του χρήστη για τις εικόνες που θα περιέχονται στην έκθεση. Επιλέγει τις εικόνες που θέλει να εμφανίζονται στις θέσεις 2 έως 8. Δηλαδή κάθε εικόνα που θα επιλέξει έχει συγκεκριμένη θέση στην έκθεση:

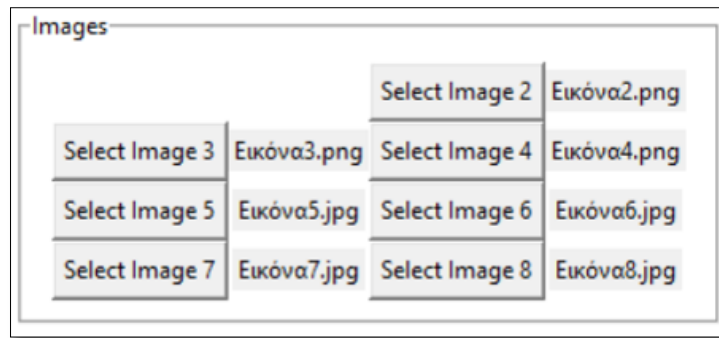


Εικόνα 22 Το πλαίσιο Images

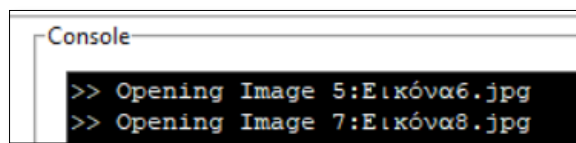
μέσω του button **Select Image 2, 3 ... ή 8** δίνει εντολή για την επιλογή του αρχείου εικόνας για την θέση 2, 3 ... ή 8 στην έκθεση και στην συνέχεια επιλέγει το κατάλληλο αρχείο εικόνας από τον υπολογιστή του.



Εικόνα 23 Επιλογή αρχείου εικόνας



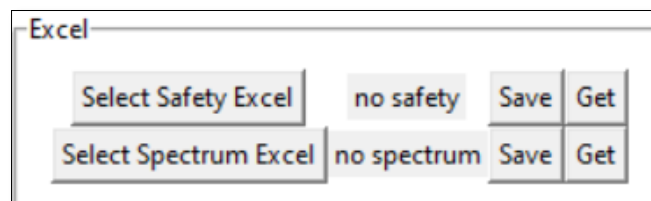
Εικόνα 24 Όταν έχουν επιλεγεί όλες οι εικόνες



Εικόνα 25 Μήνυμα για την πορεία εισαγωγής της εικόνας

- Excel-

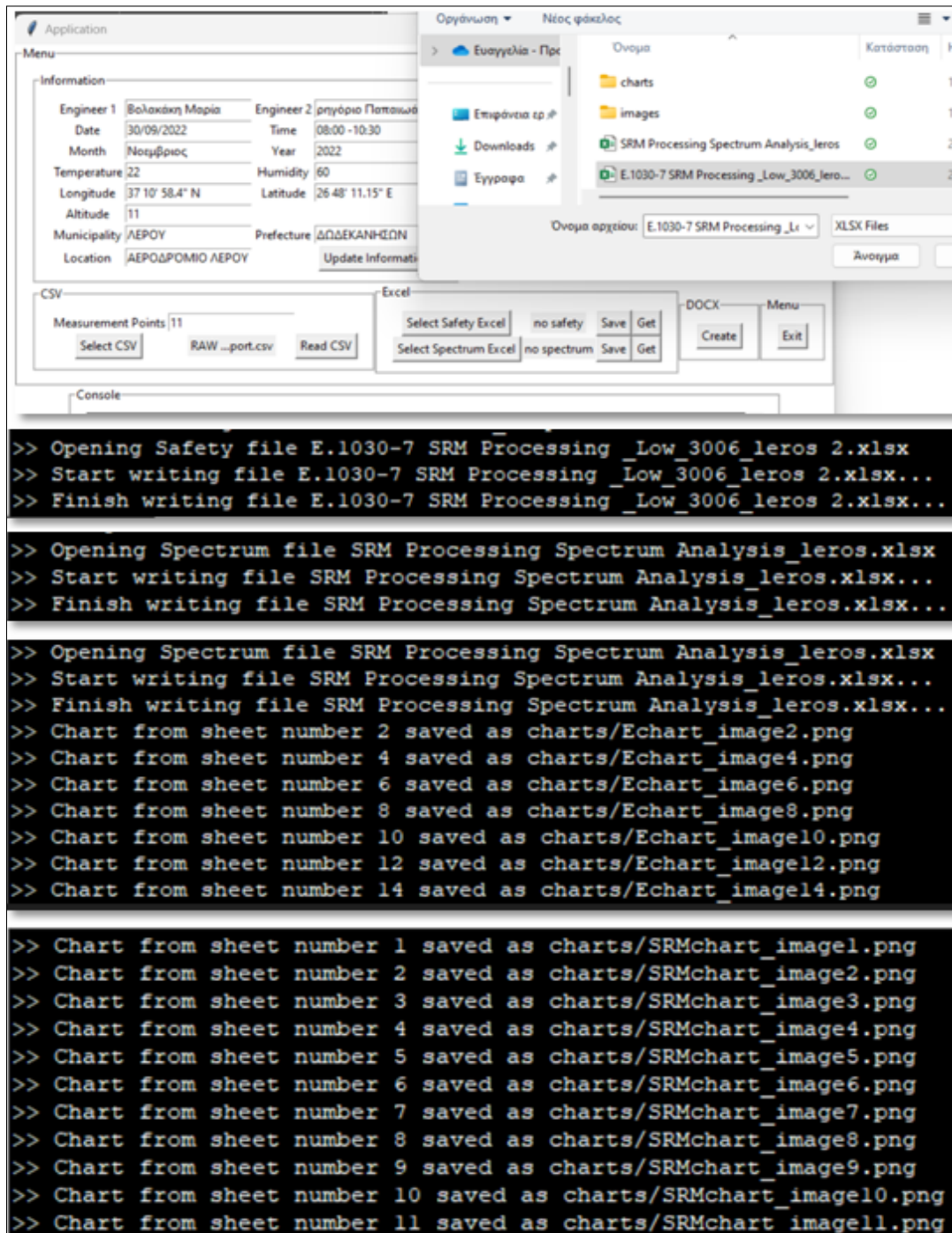
Σε αυτό το βήμα ο χρήστης εισάγει στο πρόγραμμα τα template excel που θα χρησιμοποιηθούν.



Εικόνα 26 Το πλαίσιο Excel

Στη συνέχεια πατώντας διαδοχικά το button **Save** το πρόγραμμα διαμοιράζει στο κάθε excel τα δεδομένα που του αντιστοιχούν και είχε αποθηκεύσει από το CSV, προκειμένου να δημιουργηθούν τα απαραίτητα γραφήματα. Μέσω του παραθύρου προβολής μηνυμάτων ενημερωνόμαστε ότι η μεταφορά των πληροφοριών ολοκληρώθηκε.

Πατώντας το button **Get** ο χρήστης καλεί την εφαρμογή να αποθηκεύσει τα γραφήματα ως εικόνες σε έναν προεπιλεγμένο φάκελο μέσα στα αρχεία του προγράμματος προκειμένου να χρησιμοποιηθούν αργότερα στη δημιουργία της έκθεσης. Εν συνεχεία η εφαρμογή στέλνει στον χρήστη μηνύματα επιβεβαίωσης για την αποθήκευση των γραφημάτων.



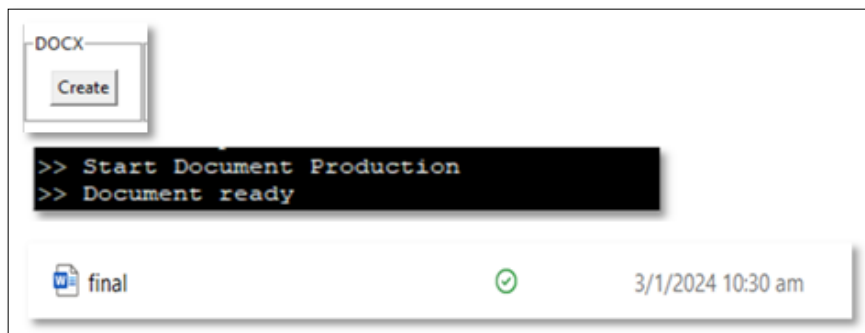
Εικόνα 27 Εισαγωγή των template και εμφάνιση αντίστοιχων μηνυμάτων στην κονσόλα

- DOCX-

Αφού ο χρήστης έχει ενσωματώσει στο σύστημα όλες τις απαραίτητες πληροφορίες, πατώντας το button **Create**, δίνεται η εντολή δημιουργίας του τελικού εγγράφου της έκθεσης.

Στο παράθυρο προβολής μηνυμάτων παρατηρούμε την έναρξη και την ολοκλήρωση της διαδικασίας της δημιουργίας.

Το δημιουργημένο έγγραφο αποθηκεύεται σε προκαθορισμένο φάκελο της εφαρμογής κάτω από την ονομασία 'final'.



Εικόνα 28 Δημιουργία αρχείου έκθεσης αποτελεσμάτων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Το τελικό έγγραφο, η έκθεση, είναι ένα αρχείο κειμένου τύπου docx, πλήρως προσαρμοσμένο στις διαφοροποιήσεις της κάθε μέτρησης και τροποποιημένο σύμφωνα με τις εντολές των χρηστών.

7

Συμπέρασμα

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία αποτελείται από δύο διακριτά τμήματα. Το πρώτο τμήμα περιλαμβάνει μια θεωρητική εισαγωγή στις βασικές έννοιες του ηλεκτρομαγνητισμού, παρουσιάζοντας χρήσιμα μεγέθη για τη μελέτη ηλεκτρομαγνητικών πεδίων και αναλύοντας την προέλευση και διάδοση των κυμάτων στο χώρο. Επίσης, αναφέρονται οι βασικοί περιορισμοί και οι οριακές τιμές ασφαλείας συχνοτήτων, σύμφωνα με τις οδηγίες της Διεθνούς Επιτροπής για την Προστασία από τις Μη-Ιονίζουσες Ακτινοβολίες (ICNIRP). Στη συνέχεια, παρουσιάζονται το ΕΣΥΕ και ο επιλεκτικός μετρητής SRM-3006 της Narda, ο οποίος χρησιμοποιείται από το ΕΣΥΕ για τις μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε διάφορες περιοχές. Τέλος, παρουσιάζεται η μεθοδολογία με την οποία πραγματοποιούνται οι μετρήσεις στο εργαστήριο.

Το δεύτερο μέρος της Διπλωματικής Εργασίας επικεντρώνεται στον σχεδιασμό και την υλοποίηση μιας εφαρμογής. Η εφαρμογή που αναπτύχθηκε προσφέρει μια αυτοματοποιημένη διαδικασία μετατροπής δεδομένων, την επεξεργασία τους και τη σύνταξη μιας έκθεσης, με σκοπό την παρουσίαση αποτελεσμάτων από εκτελεσμένες μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται από το Εργαστήριο Συστημάτων Υπολογιστών και Επικοινωνιών με τη χρήση του οργάνου μέτρησης SRM-3006, με στόχο την καταγραφή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε συγκεκριμένες θέσεις ή περιοχές.

Η μέτρηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι ζωτικής σημασίας για πολλούς λόγους. Κυριότερα, η ανθρώπινη υγεία βρίσκεται σε πρώτο πλάνο. Μελέτες έχουν αποδείξει ότι η έκθεση σε υψηλά επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μπορεί να συνδεθεί με δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία. Η μέτρηση αυτής της ακτινοβολίας μπορεί να βοηθήσει στον καθορισμό εάν οι εκθέσεις βρίσκονται εντός των ασφαλών ορίων. Ένας δεύτερος λόγος είναι ο περιβαλλοντικός έλεγχος. Μετρώντας την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε διάφορα περιβάλλοντα, όπως στα σπίτια, στις εργασιακές τοποθεσίες και στους δημόσιους χώρους, μπορεί να αξιολογηθεί η συμμόρφωση με τους κανονισμούς ασφαλείας και να ληφθούν αποτελεσματικά μέτρα για τη μείωση της έκθεσης. Οι τηλεπικοινωνίες αποτελούν έναν ακόμα σημαντικό λόγο. Σε συνδυασμό με την εκτίμηση του φάσματος συχνοτήτων και του επίπεδου ισχύος, οι μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μπορούν να βοηθήσουν στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη ασφαλών και αποδοτικών συστημάτων τηλεπικοινωνιών. Τέλος, η συνεχής μέτρηση και

παρακολούθηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε πλαίσιο ερευνών είναι σημαντική για την εκτίμηση των πιθανών επιπτώσεων στην υγεία και το περιβάλλον, καθώς και για τη διεξαγωγή πειραματικών μελετών και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών που μειώνουν την έκθεση. Είναι σχεδόν αδύνατο να επιβεβαιωθεί επιστημονικά ότι ένας οποιοσδήποτε παράγοντας είναι πλήρως ασφαλής για την υγεία, ενώ αντίθετα είναι πολύ πιο εύκολο να αποδειχθεί ότι είναι, έστω και σε μικρό βαθμό, επιβλαβής.

Η ολοκλήρωση αυτής της εργασίας μας φέρνει ικανοποίηση, καθώς επιτεύχθηκαν οι αρχικοί μας στόχοι με επιτυχία. Διαθέτουμε μια πλήρως λειτουργική εφαρμογή, με ελάχιστες ατέλειες, η οποία είχε θετικό αντίκτυπο στη διαδικασία. Από την εμπειρία της σχεδίασης και ανάπτυξης της εφαρμογής συνάγουμε ότι η διαδικασία αυτή είναι περίπλοκη και απαιτεί περίπλοκες γνώσεις σε φυσική και προγραμματισμό. Ανακεφαλαιώνοντας, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι αυτό το έργο είναι μια καινοτόμος ιδέα, η οποία επιτυγχάνει τη μέγιστη εξοικονόμηση κάθε τύπου ενέργειας, χρόνου και αποφυγής λαθών που σχετίζονται με τη σύνταξη μιας τέτοιας έκθεσης.

7.1 Μελλοντικές βελτιώσεις

Για την παραγωγή του docx αρχείου χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη python-docx που είναι μία βιβλιοθήκη υπό εξέλιξη από μία ενεργή κοινότητα χρηστών. Δυστυχώς όμως κάποιες λειτουργίες δεν έχουν υλοποιηθεί ακόμη με αποτέλεσμα κάποιες μορφοποιήσεις στο έγγραφο να μην μπορούν να αυτοματοποιηθούν. Για παράδειγμα τα περιεχόμενα ή οι αριθμοί σελίδας θα πρέπει σε δεύτερο χρόνο να γίνουν από τον χρήστη του κειμένου. Μία βελτίωση στην εφαρμογή θα ήταν να ενσωματώσει τις λειτουργίες αυτές όταν υλοποιηθούν από την κοινότητα.

Η Python παρέχει πολλές βιβλιοθήκες για παρουσίαση γραφημάτων. Με δεδομένο ότι τα αρχικά δεδομένα βρίσκονται σε αρχείο CSV και σαν τελικό αποτέλεσμα απαιτείται ένα αρχείο docx, θα μπορούσε, σε μία μελλοντική έκδοση της, η εφαρμογή να μην περιλαμβάνει καθόλου τα ενδιάμεσα excel. Θα μπορούσαν όλοι οι υπολογισμοί και τα γραφήματα να παράγονται μέσω του κώδικα. Στην πραγματικότητα, λόγω του ότι τα αποτελέσματα των συναρτήσεων που βρίσκονται σε κελιά δεν μπορούν να εισαχθούν στην python οι υπολογισμοί γίνονται έτσι και αλλιώς στην εφαρμογή μέσω κώδικα.

Βιβλιογραφία

- [1]. World Health Organization (WHO). 2010. Electromagnetic fields and public health: exposure to extremely low frequency fields. Geneva: World Health Organization.
https://www.who.int/health-topics/electromagnetic-fields#tab=tab_1
- [2]. The European Committee for Electrotechnical Standardization: <https://www.cenelec.eu>
- [3]. Ένωση εταιριών κινητής τηλεφωνίας. <http://www.eekt.gr/>
- [4]. Raymond A. Serway. 1990. Physics for Scientists and Engineers. Third Edition. Τόμος II: Ηλεκτρομαγνητισμός. Εκδότης: Ιδιωτική
- [5]. David J. Griffiths. 1996. Εισαγωγή στην Ηλεκτροδυναμική. Τόμος I. Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης.
- [6]. David J. Griffiths. 1997. Εισαγωγή στην Ηλεκτροδυναμική. Τόμος II. Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης.
- [7]. Κων. Ι. Παπαχρήστου. 2010. Εισαγωγή στην ηλεκτρομαγνητική θεωρία και τη φυσική των αγωγίων στερεών β' έκδοση.
<https://eclass.snd.edu.gr/modules/document/file.php/TOM6104/EM%20Volume%20PDF.pdf>
- [8]. Wikipedia. <el.wikipedia.org>
- [9]. Εγκυκλοπαίδεια Britannica. <https://www.britannica.com/science/frequency-physics>
- [10]. Δρόσος Δ., Βουγιούκας Δ., Καλλίγερος Ε., Κοκολάκης Σ., Σκιάνης Χ. 2015. Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών & Επικοινωνιών. Αθήνα: Εκδόσεις Σύνδεσμος ελληνικών ακαδημαϊκών βιβλιοθηκών
- [11]. Κ.Μ. Πατενιώτης, Κεφάλαιο 5. Καρκίνος και Έκθεση στις Ιοντίζουσες και μη- Ιοντίζουσες ακτινοβολίες.
https://www.stopcancer.gr/images/media/karkinos_paragontes_kindinou_1.pdf
- [12]. Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας. <https://eeae.gr/>
- [13]. Εθνικό δίκτυο παρακολούθησης της μη ιοντίζουσας Η/Μ ακτινοβολίας ασύρματων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων. <https://pedion24.gr>
- [14]. John R. Reitz. 2009. Foundations of Electromagnetic Theory. Pearson Education
- [15]. David Jiles. 2015. Introduction to Magnetism and Magnetic Materials. Pub. Location Boca Raton. CRC Press

- [16]. Σύσταση του Συμβουλίου της 12ης Ιουλίου 1999 περί του Περιορισμού της Έκθεσης του Κοινού σε Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία (0 Hz – 300 GHz). Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων. L 199/59, 30.7.1999
- [17]. WHO research agenda for radiofrequency fields. World Health Organization. 2010. ISBN : 978 92 4 159994 8
- [18]. Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών <http://www.opengov.gr/yme/?p=2527>
- [19]. Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας. <http://www.eeae.gr>
- [20]. ΦΕΚ 346/3 Μάρτιος 2008, Β' τεύχος
- [21]. Κ.Θ. Λιολιούσης. 1997. Βιολογικές Επιδράσεις της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας. Αθήνα. Εκδόσεις Δίαυλος
- [22]. The International EMF Project. <https://www.who.int/initiatives/the-international-emf-project>
- [23]. ICNIRP: Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). 2020. Health Physics. 118(5). 483–524.
- [24]. IEEE Standards Coordinating Committee 28, Subcommittee 4. 2002. IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to electromagnetic fields, 0 Hz to 300 GHz. IEEE Std C95.1-2005 (Revision of IEEE Std C95.1-1991).
- [25]. Αφροδίτη Δαϊκού. 2008. Νομοθετικοί Ορισμοί Εννοιών και όρων σχετικών με την Υ.Α.Ε. Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας. Αθήνα
https://www.elinyae.gr/sites/default/files/2019-07/nomothetiko_i_orismoi.1232548070078.pdf
- [26]. Οδηγία 2013/35/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 26ης Ιουνίου 2013 , περί των ελαχίστων απαιτήσεων υγείας και ασφάλειας όσον αφορά την έκθεση των εργαζομένων σε κινδύνους προερχόμενους από φυσικούς παράγοντες (ηλεκτρομαγνητικά πεδία). <http://data.europa.eu/eli/dir/2013/35/oj>
- [27]. 1999/519/EU. Σύσταση του Συμβουλίου της 12ης Ιουλίου 1999 περί του περιορισμού της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία (0 Hz — 300 GHz). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:31999H0519&from=PT>
- [28]. Νόμος 4070/2012. <https://www.eett.gr/wp-content/uploads/2021/10/N4070-2012.pdf>
- [29]. Computer and Communication Systems Laboratory (CCSL). <https://icsdweb.aegean.gr/ccsl/>
- [30]. Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης. <https://elot.gr>
- [31]. International Standard. ISO/IEC 17025.General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Third edition. 2017-11. Reference number ISO/IEC 17025:2017(E)
- [32]. Narda Safety Test Solutions. SRM-3006 Selective Radiation Meter. <https://www.narda-sts.com/en/selective-emf/srm-3006-field-strength-analyzer/pd/pdfs/23414/eID/>
- [33]. Anaconda Platform. <https://www.anaconda.com>
- [34]. Project Jupyter. <https://jupyter.org>
- [35]. PyPI. The Python Package Index. <https://pypi.org>