

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ
ΠΕΔΙΟΥ ΣΕ RF ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ



Των φοιτητριών
Κάγκα Γεωργία (ΑΜ 514044)
Λάττα Βασιλική (ΑΜ 516071)

Επιβλέπουσα
Ιωαννίδου Μελίνα
Καθηγήτρια

Μάιος 2025

Τίτλος Π.Ε. Μελέτη και μετρήσεις της έντασης του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου σε RF
συχνότητες

Κωδικός Π.Ε. 20118

Όνοματεπώνυμο φοιτητριών Γεωργία Κάγκα - Βασιλική Λάττα

Όνοματεπώνυμο εισηγήτριας Μελίνα Ιωαννίδου

Ημερομηνία ανάληψης Π.Ε. 26-07-2023

Ημερομηνία περάτωσης Π.Ε. 12-05-2025

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία των φοιτητριών Κάγκα Γεωργία και Λάττα Βασιλική που την εκπόνησαν. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίας στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιοδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

Στις οικογένειές μας

Πρόλογος

Η επιλογή του θέματος αυτής της πτυχιακής εργασίας προέκυψε από το ενδιαφέρον μας για τις τηλεπικοινωνίες και τις επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο περιβάλλον και τον άνθρωπο. Η ραγδαία ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων και η συνεχής αύξηση των πηγών εκπομπής ραδιοκυμάτων καθιστούν τη μελέτη των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων πιο επίκαιρη από ποτέ. Μέσω αυτής της έρευνας, αποκομίσαμε πολύτιμες γνώσεις σχετικά με τις μετρητικές τεχνικές των ηλεκτρικών πεδίων στη ζώνη RF, καθώς και για τα διεθνή πρότυπα ασφαλείας. Επιπρόσθετα, με τη χρήση ειδικού εξοπλισμού που μας βοήθησε στη συλλογή και ανάλυση δεδομένων αποκτήσαμε περαιτέρω γνώσεις σχετικά με τα επίπεδα ακτινοβολίας στις αστικές περιοχές καθώς και τις επιπτώσεις της. Μέσω της μελέτης αυτής κατανοήσαμε καλύτερα την επίδραση της τεχνολογίας στην καθημερινή μας ζωή.

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, με έμφαση στη μη ιονίζουσα ακτινοβολία και τις επιδράσεις της στον άνθρωπο. Δίνεται έμφαση στις πηγές, τις εφαρμογές και τις πιθανές βιολογικές επιπτώσεις της ακτινοβολίας ραδιοσυχνοτήτων (RF). Η ανάλυση των συγκεκριμένων ζητημάτων γίνεται στη βάση ευρωπαϊκών και διεθνών προτύπων για την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία, με κύριους φορείς αναφοράς την ICNIRP, την CEN, την CENELEC, την ETSI και την ΕΕΑΕ. Η ερευνητική μελέτη περιλαμβάνει επιτόπιες μετρήσεις έντασης ηλεκτρικού πεδίου σε περιοχές της Θεσσαλονίκης (Καλαμαριά και Χαριλάου), με χρήση εξειδικευμένου εξοπλισμού (πεδιόμετρο PMM 8053A και αισθητήρα EP-300). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων καταγράφονται, αναλύονται και συγκρίνονται με τα θεσμοθετημένα όρια ασφαλείας. Παρόλο, που τα δεδομένα δεν κρίνονται αντιπροσωπευτικά για να γενικευτούν, δείχνουν ότι οι τιμές βρίσκονται κατά κύριο λόγο εντός των επιτρεπτών ορίων. Ωστόσο, κάποια ευρήματα εκτός των θεσμοθετημένων ορίων επισημαίνουν την ανάγκη για συνεχή παρακολούθηση των σχετικών τιμών ιδίως εντός των αστικών κέντρων. Μάλιστα ελλείπει οριστικών συμπερασμάτων για τις μακροχρόνιες επιπτώσεις, ιδίως όσον αφορά μη θερμικούς μηχανισμούς δράσης, κρίνεται αναγκαία η ενημέρωση του κοινού και η επαγρύπνηση για τη συμμόρφωση με τα πρότυπα καθώς και για τις σχετικές επιστημονικές εξελίξεις.

Study and measurements of the RF electromagnetic field intensity

Georgia Kagka & Vasiliki Latta

Abstract

The present study aims at investigating the repercussions of non-ionizing radiation, particularly radio frequency radiation, on human welfare. The analysis described above is being conducted in accordance with European and International standards about exposure to electromagnetic field, with main points of reference the ICNIRP, CEN, CENELEC, ETSI and EEAE. The empirical research is built on field based measurements of the electrical field in Thessaloniki areas (Kalamaria and Charilaou), using specialized equipment (Field meter PMM8053A and electric field probe EP-300). The results are being recorded, analysed, and compared with established safety limits. Although the results cannot be generalized, the measurements taken are in general found to be within limits. However, some measurements that exceed the limits, indicate the need for constant supervision of relevant levels particularly of those within urban areas. Given the lack of a definitive conclusion about the long-term impact concerning non-thermal mechanism of action, it is crucial that there is continuous public awareness and constant vigilance for compliance with the standards set and for any important related scientific findings.

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να εκφράσουμε την ευγνωμοσύνη μας στους γονείς και φίλους μας για την στήριξη και την ενθάρρυνσή τους σε κάθε μας βήμα.

Επίσης, ένα θερμό ευχαριστώ στην καθηγήτριά μας για την καθοδήγησή της, την πολύτιμη βοήθειά της και την υποστήριξή της καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής μας εργασίας.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	v
Περίληψη	vi
Abstract	vii
Ευχαριστίες	viii
Περιεχόμενα	ix
Κατάλογος Σχημάτων	xi
Κατάλογος Πινάκων	xi
Συντομογραφίες.....	xii
Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή.....	1
1.1 Γενικά.....	1
1.2 Δομή της Εργασίας.....	1
Κεφάλαιο 2ο: Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα.....	1
2.1 Ηλεκτρομαγνητικό Πεδίο	1
2.2 Ανάλυση των ζωνών συχνοτήτων	3
2.3 Ιονίζουσα και μη ιονίζουσα ακτινοβολία	4
2.4 Θερμικές & μη θερμικές επιδράσεις	5
2.5 Ο δείκτης SAR.....	6
2.5.1 Δείκτης SAR και απόσταση.....	7
2.6 Επιπτώσεις της ακτινοβολίας στην υγεία	8
2.6.1 Εισαγωγική βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	8
2.6.2 Επιπτώσεις της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας	10
2.6.3 Επιπτώσεις της ιονίζουσας ακτινοβολίας	11
Κεφάλαιο 3ο:Ευρωπαϊκά Πρότυπα-Κανονισμοί, Οργανισμοί και Νομοθεσία.....	13
3.1 Ευρωπαϊκά Πρότυπα	13
3.2 Δίκτυο CEN & CENELEC	14
3.3 ETSI	16
Κεφάλαιο 4ο: Πρωτόκολλο Μέτρησης.....	18
4.1 Πεδιόμετρο μέτρησης.....	18
4.2 Αισθητήρας.....	19
4.3 Φύλλο Μέτρησης	20
4.4 Διαδικασία Μέτρησης	21
4.5 Κριτήρια επιλογής μέτρησης	23

Κεφάλαιο 5ο : Αποτελέσματα Μετρήσεων.....	24
5.1 Περιοχές Καλαμαριάς και Χαριλάου	24
5.2 Ανάλυση των υπολογισμών των στατιστικών τιμών	26
5.2.1 Περιγραφή και ανάλυση των τιμών outliers	27
5.2.2 Τρόπος δημιουργίας Πινάκων "box and whisker plots" - Outliers.....	28
5.2.3 Στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων.....	29
Κεφάλαιο 6ο: Συμπεράσματα.....	36
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	38
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	42

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2.1: Ηλεκτρομαγνητικό TEM κύμα	2
Σχήμα 2.2: Φάσμα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας	3
Σχήμα 4.1: Πεδιόμετρο PMM 8053A	20
Σχήμα 4.2: Αισθητήρας EP-300	21
Σχήμα 5.1α: Διάγραμμα avg (V/m) (συμπεριλαμβάνεται η τιμή 11.66).....	33
Σχήμα 5.1β: Διάγραμμα της Αθροιστικής κατανομής του avg (V/m) (συμπεριλαμβάνεται η τιμή 11.66)	33
Σχήμα 5.2α: Διάγραμμα Exposure ratio (λ) (συμπεριλαμβάνεται η τιμή 11.66).....	34
Σχήμα 5.2β: Διάγραμμα Αθροιστικής κατανομής του Exposure ratio (λ) (συμπεριλαμβάνεται η τιμή 11.66).....	34
Σχήμα 5.3α: Διάγραμμα avg (V/m) (δε συμπεριλαμβάνεται η τιμή 11.66)	35
Σχήμα 5.3β: Διάγραμμα Αθροιστικής κατανομής του avg (V/m) (δε συμπεριλαμβάνεται η τιμή 11.66)	35
Σχήμα 5.4α: Διάγραμμα Exposure ratio (λ) (δε συμπεριλαμβάνεται η τιμή 11.66)	36
Σχήμα 5.4β: Διάγραμμα Αθροιστικής κατανομής του Exposure ratio (λ) (δε συμπεριλαμβάνεται η τιμή 11.66).....	36

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1: Ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος	3-4
Πίνακας 4.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά πεδιομέτρου PMM 8053A	19
Πίνακας 4.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα EP-300	20
Πίνακας 4.3: Ταυτότητα μετρήσεων	21
Πίνακας 4.4: Θέση μέτρησης	22
Πίνακας 4.5: Μετρήσεις.....	22
Πίνακας 5.1: Όριο έκθεσης $E_{lim,f}^j$ (V/m) του κοινού σε περιοχές σχολείων, σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία 3.1: Αριθμητικά δεδομένα	26

Συντομογραφίες

ΔΙΠΑΕ Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος

EETT Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών & Ταχυδρομείων

ΕΛΙΝΥΑΕ Ελληνικό Ινστιτούτο Υγείας και Ασφάλειας στην Εργασία

Π.Ε. Πτυχιακή Εργασία

ΤΠΕ Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών

AM Amplitude Modulation

CEN European Committee for Standardization

CENELEC European Committee Electrotechnical for Standardization

CEPT European Conference of Postal and Telecommunications Administrations

CWA CEN Workshop Agreement

EHF Extremely High Frequency

ELF Extremely Low Frequency

EMF Electromagnetic Frequency

EN Europäische Norm (European Standards)

ETSI European Telecommunications Standards Institute

FCC Federal Communications Commission

FM Frequency modulation

HF High Frequency

IARC International Agency for Research on Cancer

IEC International Electrotechnical Commission

IPL Intense Pulsed Light

IRA Infrared-A

IRB Infrared-B

IRC Infrared-C

ITU International Telecommunication Union

IQR Interquartile Range

LF Low Frequency

MF Medium Frequency

MMW Millimeter Waves

MRMC Membership Relations and Monitoring Committee

MW Microwave

NC National Committee
NSB National Standardization Bodies
PC Presidential Committee
RF Radio Frequency
SAR Specific Absorption Rate
SD Standard Deviation
SHF Super High Frequency
SLF Super Low Frequency
TEM Transverse Electromagnetic Wave
TR Technical Report
TS Technical Specifications
UHF Ultra High Frequency
ULF Ultra Low Frequency
VHF Very High Frequency
VLF Very Low Frequency
WHO World Health Organization

Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Στην εποχή μας, η χρήση των ασυρμάτων επικοινωνιών αυξάνεται διαρκώς, οδηγώντας σε όλο και περισσότερες εγκαταστάσεις κεραιών κινητής τηλεφωνίας, ραδιοφωνικών και τηλεοπτικών πομπών. Παρόλο που αυτές οι τεχνολογίες είναι απαραίτητες για την καθημερινή επικοινωνία, υπάρχουν συζητήσεις και ανησυχία σχετικά με τις πιθανές επιπτώσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στην υγεία και το περιβάλλον. Η συγκεκριμένη εργασία επικεντρώνεται στη μελέτη γύρω από τις μετρήσεις της ηλεκτρικής πεδιακής έντασης σε επιλεγμένες περιοχές της Θεσσαλονίκης, όπου έγιναν με τη χρήση του πεδιδόμετρου PMM-8053A στην περιοχή συχνοτήτων 300 kHz έως 3 GHz. Συγκεκριμένα επιλέχθηκαν οι περιοχές της Καλαμαριάς και της Χαριλάου, όπου είναι τοποθετημένες αρκετές κεραιές κινητής τηλεφωνίας και τηλεόρασης.

1.2 Δομή της Εργασίας

Η παρούσα πτυχιακή εργασία για την καλύτερη κατανόησή της έχει χωριστεί στα παρακάτω κεφάλαια.

Στο 2^ο κεφάλαιο εξετάζεται η έννοια του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, καθώς και η κατηγοριοποίηση της ακτινοβολίας σε ιονίζουσα και μη ιονίζουσα. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στις επιδράσεις των μη ιονιζουσών ακτινοβολιών, οι οποίες διαχωρίζονται σε θερμικές και μη θερμικές. Επιπλέον, γίνεται λόγος για τις επιπτώσεις που μπορούν να έχουν αυτές οι ακτινοβολίες στην υγεία, βάσει ερευνητικών δεδομένων, όταν οι βιολογικοί οργανισμοί εκτίθενται σε αυτές.

Στο 3^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα διεθνή πρότυπα και η διαδικασία καθορισμού τους από τους αντίστοιχους φορείς.

Στο 4^ο κεφάλαιο εξετάζονται τα δύο κύρια εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις της ακτινοβολίας στις περιοχές της Καλαμαριάς και της Χαριλάου: το πεδιδόμετρο PMM 8053A και ο αισθητήρας EP-300. Παράλληλα, περιγράφεται αναλυτικά το πρωτόκολλο που ακολουθήθηκε κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, προκειμένου να διασφαλιστούν ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα για τη μελέτη. Επιπλέον, αναλύονται τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν για την επιλογή των περιοχών της Καλαμαριάς και της Χαριλάου για τις μετρήσεις. Συγκεκριμένα, λαμβάνονται υπόψη παράγοντες όπως η γεωγραφική τους θέση και η ύπαρξη πολλών κεραιών.

Στο 5^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν και πραγματοποιείται η σχετική επεξεργασία τους.

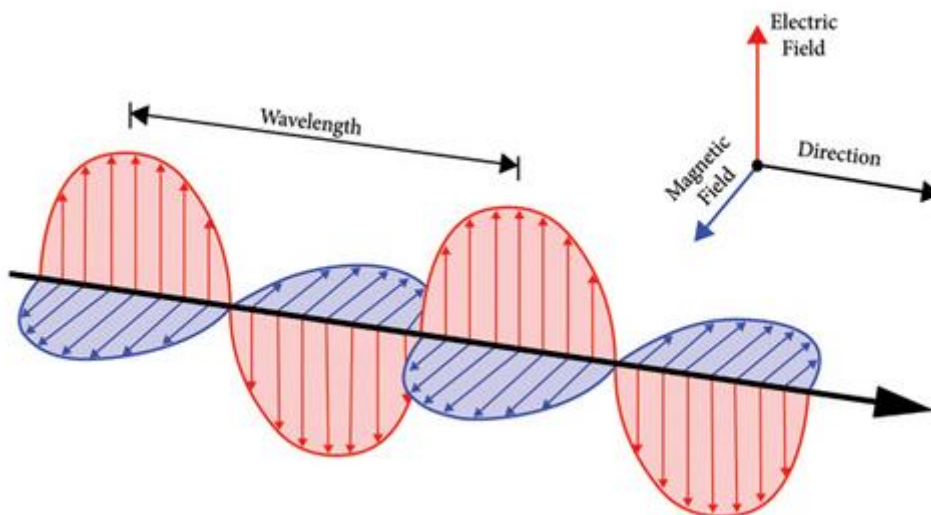
Τέλος, στο 6^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις, με βάση τα δεδομένα που συλλέχθηκαν.

Κεφάλαιο 2ο : Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

2.1 Ηλεκτρομαγνητικό Πεδίο

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία συνίσταται στη μεταφορά ενέργειας από μια πηγή προς το περιβάλλον χωρίς την απαραίτητη παρουσία υλικού ή άλλου μέσου. Η διάδοση στο κενό γίνεται με την ταχύτητα φωτός. [1], [28] Επίσης, η ενέργεια διαδίδεται στο χώρο και απορροφάται από τα σώματα που τη δέχονται. Η μετάδοση λαμβάνει χώρα υπό μορφή κυμάτων, τα οποία αποτελούνται από δύο συνιστώσες: το μαγνητικό πεδίο και το ηλεκτρικό πεδίο. Ωστόσο, αυτός ο μηχανισμός δεν ισχύει για όλα τα είδη κυμάτων ή ακτινοβολίας. Για παράδειγμα, τα μηχανικά κύματα, όπως ο ήχος, χρειάζονται ένα μέσο διάδοσης για να μεταφερθούν. Μια ειδική περίπτωση ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι τα κύματα TEM (Transverse Electromagnetic Wave). Πρόκειται για τα εγκάρσια ηλεκτρομαγνητικά κύματα, όπου τα δύο πεδία είναι κάθετα συζευγμένα μεταξύ τους και η κίνησή τους έχει κάθετη κατεύθυνση προς το επίπεδο που σχηματίζουν. [35] Ισχύει για ηλεκτρομαγνητικά κύματα στο κενό ή σε ομοιογενή μέσα, όπως το φως ή τα ραδιοκύματα. Συναντώνται σε συγκεκριμένες εφαρμογές, όπως π.χ. στις Τηλεπικοινωνίες.

Στην Εικόνα 2.1 φαίνεται ο τρόπος διάδοσης ενός ηλεκτρομαγνητικού TEM κύματος. [35]



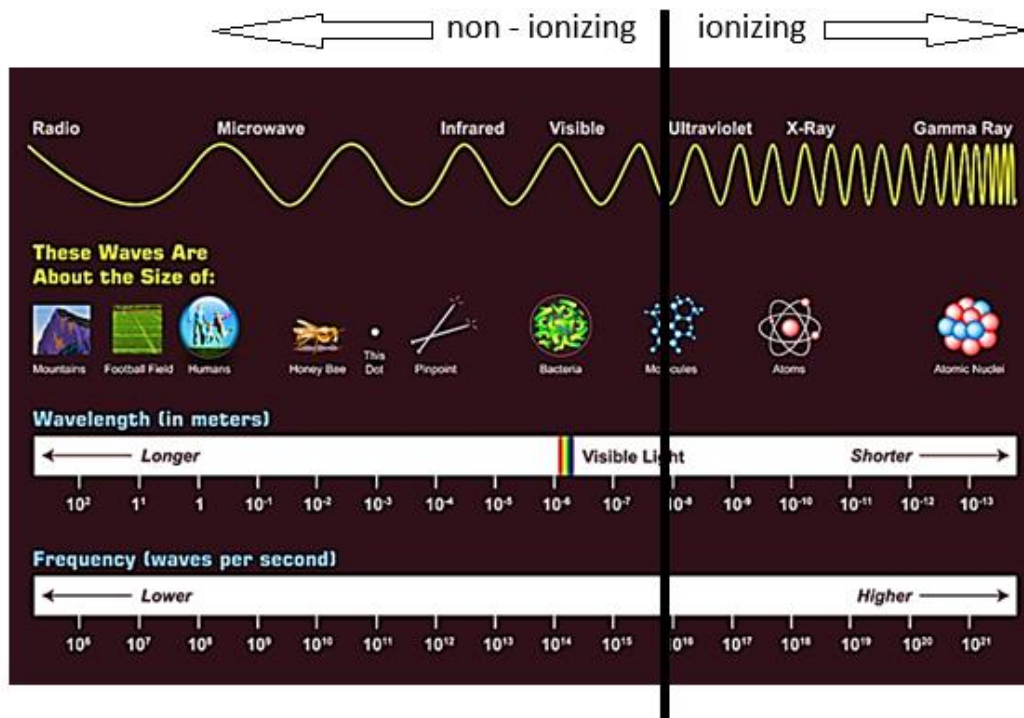
Εικόνα 2.1: Ηλεκτρομαγνητικό TEM κύμα [35]

Εντούτοις, η εν λόγω διαμόρφωση δεν ισχύει για όλα τα είδη κυμάτων ή τις συνθήκες διάδοσης. Υπάρχουν κι άλλοι τύποι κυμάτων, όπως τα μηχανικά κύματα (π.χ. ήχος) που χρειάζονται μέσο διάδοσης λόγω της φύσης τους (π.χ. δονήσεις στα μόρια του μέσου). Επίσης, τα επιφανειακά κύματα δεν έχουν μαγνητικό πεδίο. Ακόμη, υφίστανται και κύματα με άλλες πολώσεις. Με άλλα λόγια, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα μπορούν να έχουν μια σχετικά πιο σύνθετη διάταξη του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου, όπως π.χ. τα εγκάρσια ηλεκτρικά κύματα (TE) και τα εγκάρσια μαγνητικά κύματα (TM), όπου η μία από τις συνιστώσες (E ή B) δεν είναι κάθετη στη διεύθυνση διάδοσης. Επιπλέον, μπορεί η διάδοση των κυμάτων να γίνεται σε μέσα με διαφορετικές ιδιότητες. Συγκεκριμένα, σε ένα μέσο όπως π.χ. ένας κυματοδηγός ή ένα αγωγίμο υλικό, η διάδοση δεν έχει πάντα τη μορφή κυμάτων TEM, διότι υπάρχει η πιθανότητα να συνυπάρχουν και διαμήκεις συνιστώσες των πεδίων. Με απλά

λόγια, τα κύματα TEM κύματα συνιστούν μία ειδική περίπτωση, η οποία δεν καλύπτει όλες τις πιθανές περιπτώσεις κυμάτων ή ακτινοβολίας.

Γενικά, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία περιγράφεται και ως ροή φωτονίων. Πρόκειται για σωματίδια χωρίς μάζα που το καθένα ταξιδεύει ως κύμα, με την ταχύτητα του φωτός (στο κενό). Τα φωτόνια είναι κβάντα ενέργειας και η συμπεριφορά τους ως σωματίδια-κύματα περιγράφεται από την κβαντική θεωρία. Η μονάδα συχνότητας της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι τα Hertz (Hz), η μονάδα μήκους κύματος τα m, cm, μm, nm και η μονάδα ενέργειας είναι τα Joule, J, eV, MeV. Το σύνολο των συχνοτήτων ή μηκών κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας καλείται ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Επίσης, η ακτινοβολία ταξινομείται σε μη ιονίζουσα (μεγαλύτερου μήκους κύματος ήτοι χαμηλότερης συχνότητας και με χαμηλότερη ενέργεια από τα αντίστοιχα μεγέθη του φωτός) και σε ιονίζουσα (μικρού μήκους κύματος, δηλ. υψηλής συχνότητας και με υψηλότερη ενέργεια). [28]

Στην Εικόνα 2.2 φαίνεται το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπου στην περιοχή του ορατού φάσματος, πρακτικά διαχωρίζεται η ιονίζουσα από την μη ιονίζουσα ακτινοβολία.



Εικόνα 2.2: Φάσμα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας [6]

Οι ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος αναφέρονται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1: Ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος

Περιοχή του φάσματος	Μήκος κύματος	Εύρος συχνοτήτων
Ραδιοκύματα	100.000km – 1mm	0 – 300 GHz
Μικροκύματα*	1m – 1mm	300 MHz – 300GHz
Υπέρυθρη ακτινοβολία	1mm – 740nm	300GHz – 400THz

Ορατό φως	740nm – 380nm	400THz – 800THz
Υπεριώδης ακτινοβολία	380nm – 10nm	800THz – $3 \cdot 10^{16}Hz$
Ακτίνες X	10nm – 0,01nm	$3 \cdot 10^{17}Hz$ – $3 \cdot 10^{19}Hz$
Ακτίνες γ	0,01nm – 0,001nm	$3 \cdot 10^{19}Hz$ – $3 \cdot 10^{20}Hz$

* Μικροκύματα: Ανήκουν στα ραδιοκύματα

Τέλος, όπως θα αναλυθεί σε επόμενη ενότητα, η αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας (από όλο το φάσμα) με την ύλη επιφέρει ορισμένες σημαντικές βιολογικές και μη βιολογικές επιδράσεις. Η εμφάνιση ή όχι των εν λόγω φαινομένων εξαρτάται από το είδος και την ενέργεια του μεταφερόμενου κύματος της ακτινοβολίας, το υλικό ή το μέσο στο οποίο λαμβάνει χώρα η διάδοση, καθώς και το είδος του μέσου, στο οποίο προσπίπτει και απορροφάται ενέργεια.

2.2 Ανάλυση των ζωνών συχνοτήτων

Σύμφωνα με τη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union – ITU), οι ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και οι κύριες εφαρμογές τους είναι οι εξής [28], [8 – 10]:

1. Ραδιοκύματα (< 300 MHz): Είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα χαμηλών συχνοτήτων, με ευρεία χρήση στις τηλεπικοινωνίες. Διακρίνονται στις εξής υποκατηγορίες:

- ELF (3 Hz – 30 Hz): Χρησιμοποιούνται για υποβρύχιες στρατιωτικές επικοινωνίες.
- SLF (30 Hz – 300 Hz): Βρίσκουν εφαρμογή σε ηλεκτρικά δίκτυα (50 Hz στην Ευρώπη, 60 Hz στην Αμερική).
- ULF (300 Hz – 3 kHz): Χρησιμοποιούνται για σεισμική έρευνα και γεωφυσικές εφαρμογές.
- VLF (3 kHz – 30 kHz): Επικοινωνία με υποβρύχια και ραδιοπλοήγηση.
- LF (30 kHz – 300 kHz): Ραδιοφάροι και μακρινές επικοινωνίες.
- MF (300 kHz – 3 MHz): Ραδιοφωνικές εκπομπές AM, ναυτική επικοινωνία.
- HF (3 MHz – 30 MHz): Βραχέα κύματα για διεθνείς ραδιοεπικοινωνίες.
- VHF (30 MHz – 300 MHz): Τηλεοπτικές εκπομπές και αεροπορικές επικοινωνίες.

2. Μικροκύματα (300 MHz - 300 GHz): Αποτελούν υποκατηγορία των ραδιοκυμάτων. Μεταφέρουν υψηλότερη ενέργεια συγκριτικά με τα υπόλοιπα ραδιοκύματα. Οι υποκατηγορίες και οι αντίστοιχες εφαρμογές περιλαμβάνουν:

- UHF (300 MHz – 3 GHz): Μετάδοση τηλεοπτικών σημάτων, κινητές και οι δορυφορικές επικοινωνίες.
- SHF (3 GHz – 30 GHz): Δίκτυα Wi-Fi και ραντάρ.
- EHF (30 GHz – 300 GHz): Υψηλής ταχύτητας τηλεπικοινωνίες, δορυφορικά λινκ.
- mmWave (10 mm – 1 mm): 5G δίκτυα, αισθητήρες αυτοκινήτων.

3. Υπέρυθρη ακτινοβολία (300 GHz – 400 THz): Χρησιμοποιείται σε ασύρματες επικοινωνίες (CD player, οπτικές ίνες), υπέρυθρη φωτογράφιση, αρχαιολογία, γεωργία και γεωλογία.

4. Ζώνη του ορατού φωτός (400 THz – 800 THz): Ευαίσθητη στο ανθρώπινο μάτι, χρησιμοποιείται σε οπτικές συσκευές, φωτισμό και αναλυτική επιστήμη.

Οι υποψήφιος Δ.Ε. κρίνονται από πενταμελή επιτροπή του Τμήματος. Η επιτροπή αποτελείται από τον Αναπληρωτή Πρόεδρο, τα μέλη της Επιτροπής Δ.Ε. και δύο επιπλέον μέλη ΔΕΠ που ορίζονται από τη Γενική Συνέλευση του Τμήματος.

5. Υπεριώδης ακτινοβολία ($800 \text{ THz} - 3 \cdot 10^{17} \text{ Hz}$): Παραγόμενη από θερμά σώματα (π.χ. αστέρια). Χρησιμοποιείται στην απολύμανση και τη δερματολογία, αλλά είναι επιβλαβής για τους ζωντανούς οργανισμούς.

6. Ακτίνες X ($3 \cdot 10^{17} \text{ Hz} - 5 \cdot 10^{19} \text{ Hz}$): Χρησιμοποιούνται σε διαγνωστικές διαδικασίες στην ιατρική (ακτινογραφίες) και στη βιομηχανία για τον έλεγχο υλικών.

7. Ακτίνες γ ($5 \cdot 10^{19} \text{ Hz} - 3 \cdot 10^{22} \text{ Hz}$): Εξαιρετικά υψηλής συχνότητας ακτινοβολία που χρησιμοποιείται στην πυρηνική φυσική και στην αστρονομία για τη μελέτη αστρικών φαινομένων.

2.3 Ιονίζουσα και μη ιονίζουσα ακτινοβολία

Η ιονίζουσα ακτινοβολία έχει αρκετή ενέργεια για να παράγει ιόντα στην ύλη σε μοριακό επίπεδο. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εμφανίζει τις δυσμενέστερες βιολογικές επιδράσεις είναι η ιονίζουσα. Συγκεκριμένα, μπορεί να προκληθεί σημαντική βλάβη, συμπεριλαμβανομένης της βλάβης στο DNA και της μετουσίωσης των πρωτεϊνών. Αυτό δεν σημαίνει ότι η μη ιονίζουσα ακτινοβολία δεν μπορεί να προκαλέσει τραυματισμούς στον άνθρωπο. Συνήθως δεν έχει αρκετή ενέργεια για να προκαλέσει άμεσες χημικές αλλαγές στο DNA ή στις πρωτεΐνες, όπως η ιονίζουσα ακτινοβολία. Παρόλα αυτά, η επίδραση της στη βιολογία του ανθρώπου είναι θέμα που έχει προκαλέσει επιστημονικό ενδιαφέρον και συζήτηση. Υπάρχουν μελέτες που υποδεικνύουν ότι μπορεί να προκαλέσει τραυματισμούς, κυρίως μέσω θερμικών βλαβών, όπως εγκαύματα. Ωστόσο, ορισμένοι ερευνητές εξετάζουν και πιθανές μη θερμικές επιδράσεις της, οι οποίες χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης για την κατανόηση τους και την επιβεβαίωση πιθανών μηχανισμών βλάβης.

Η διαφορά μεταξύ της ιονίζουσας και της μη ιονίζουσας [49] ακτινοβολίας έγκειται στην ποσότητα ενέργειας του κάθε μεμονωμένου φωτονίου και όχι στην ποσότητα της συνολικής ενέργειας. Η ποσότητα ιονισμού εξαρτάται από το επίπεδο ενέργειας. [1], [10]

Η ιονίζουσα ακτινοβολία προκαλείται από σωματίδια και ηλεκτρομαγνητικά κύματα ακτίνων γ και φωτονίων. Ο ιονισμός ή η διέγερση παράγεται με την απορρόφηση της ενέργειας της ακτινοβολίας σε βιολογικά υλικά. Η διέγερση παράγεται όταν το ηλεκτρόνιο (το οποίο έλαβε την ενέργεια ακτινοβολίας) απελευθερώνεται από την τροχιά του ατόμου (υψηλό επίπεδο ενέργειας) ή το μόριο χωρίς την αποβολή του ηλεκτρονίου από το άτομο. Ο ιονισμός παράγεται όταν το ηλεκτρόνιο (το οποίο λαμβάνει υψηλή ενέργεια) αποβάλλεται από το άτομο ή το μόριο. Μπορεί να αλλάξει τις βιολογικές και χημικές συνθήκες και να προκαλέσει βλάβη στο μόριο. Η χαμηλής ενέργειας υπεριώδης ακτινοβολία μπορεί να οδηγήσει σε ιονισμό σε ορισμένες περιπτώσεις. Το κατώτερο όριο ενέργειας για την ιονίζουσα ακτινοβολία είναι η υπεριώδης περιοχή υψηλής ενέργειας.

Τέλος, η ιονίζουσα ακτινοβολία στην αλληλεπίδρασή της με την ύλη παράγει ιόντα άμεσα ή έμμεσα. Επομένως, η ιονίζουσα ακτινοβολία μπορεί να ταξινομηθεί ως άμεση ή έμμεση. [1], [7]

Η ιονίζουσα ακτινοβολία διακρίνεται σε:

- **Άμεση ιονίζουσα:** αντιστοιχεί στις ακτίνες των ηλεκτρονίων και των πρωτονίων ή δέσμες φορτισμένων σωματιδίων, όπως σωματίδια α και β , ποζιτρόνια, φορτισμένα μεσόνια, βαρέα φορτισμένα ιόντα και άλλα πυρηνικά σωματίδια. [28], [10] Αυτά τα φορτισμένα σωματίδια διέρχονται από τον βιολογικό ιστό και μπορούν να προκαλέσουν από μόνα τους άμεσο ιονισμό. Ένα ηλεκτρόνιο αποβάλλεται από τα εξωτερικά στρώματα ή τροχιές του ατόμου, δημιουργώντας θετικά ιόντα, τα οποία είναι πιο ασταθή και χημικά ενεργά από το αρχικό ουδέτερο άτομο. [28]

-**Έμμεση ιονίζουσα:** αποτελείται από ακτίνες γ , ακτίνες X και ακτίνες νετρονίων. Πρόκειται για μη φορτισμένα σωματίδια, που έχουν την ικανότητα να απωθούν (να διώχνουν) τα ηλεκτρόνια από το μέσο, προκαλώντας ιονισμό. Δεν απαντώνται χημικές και βιολογικές αλλαγές από μόνες τους από την έμμεση ιονίζουσα ακτινοβολία. Η εν λόγω ακτινοβολία απορροφάται από το υλικό και εν συνεχεία παράγονται γρήγορα ηλεκτρόνια μέσω της ενέργειας που απορροφάται. Τα σωματίδια αυτά δρουν ως άμεση ιονίζουσα ακτινοβολία και μπορούν να προκαλέσουν τον ιονισμό άλλων ατόμων του απορροφητικού υλικού και κατόπιν τη ρήξη των χημικών δεσμών με αποτέλεσμα να προκαλούνται βιολογικές βλάβες.

Οι ραδιοσυχνότητες (RF), τα μικροκύματα, οι υπέρυθρες και το ορατό φως ανήκουν στην μη ιονίζουσα ακτινοβολία. Η μη ιονίζουσα ακτινοβολία εκτείνεται σε φάσμα συχνοτήτων έως και 3×10^{15} MHz, δηλαδή φτάνει στη ζώνη του ορατού φωτός. Οι συχνότητες αυτής της ακτινοβολίας είναι χαμηλότερες από αυτές της ιονίζουσας ακτινοβολίας, και δεν διαθέτουν την απαιτούμενη ενέργεια για να προκαλέσουν ιονισμό. Αυτή η ακτινοβολία δεν έχει επαρκή ενέργεια για να μετατρέψει μόρια ή άτομα σε ιόντα. Ωστόσο, μπορεί να παραχθεί θερμότητα (φαινομενικά αναστρέψιμη) στα μόρια. Αυτό οφείλεται στην περιστροφή, τη δόνηση και την κίνηση των μορίων. Η θέρμανση των μορίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θεραπευτικούς λόγους ή για αισθητικές παρεμβάσεις στο δέρμα.

Οι βιολογικές επιπτώσεις της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας τελεί υπό διαρκή διερεύνηση, ειδικά από τότε που ξεκίνησε να λειτουργεί η κινητή τηλεφωνία. Ωστόσο, μπορεί να προκαλέσει τραυματισμούς, εγκαύματα και ερύθημα στο δέρμα.

Σύμφωνα με τα ανωτέρω, οι πιο σημαντικές πηγές αυτού του τύπου ακτινοβολίας είναι οι εξής:

- Πηγές ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων: οι άνθρωποι εκτίθενται σε ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία κυρίως μέσω πηγών όπως οι πυλώνες ηλεκτροδότησης, τα καλώδια υψηλής τάσης, οι ηλεκτροκίνητες συσκευές στις κατοικίες και τα μέσα μεταφοράς (π.χ. λεωφορεία, τρένα). Ειδικές πηγές αυτών των πεδίων περιλαμβάνουν επίσης βιομηχανικές εγκαταστάσεις και συστήματα υποδομής υψηλής ισχύος.

- Πηγές ραδιοσυχνοτήτων και μικροκυμάτων: απαντώνται στις επαγωγικές κουζίνες, στις διεργασίες συγκόλλησης, στα συστήματα ραδιοτηλεόρασης, στην κινητή τηλεφωνία και στον μαγνητικό συντονισμό.

- Πηγές υπέρυθρης ακτινοβολίας: το ηλιακό φως, οι λαμπτήρες νήματος βολφραμίου, οι λαμπτήρες αλογόνου από νήμα βολφραμίου, οι δίοδοι εκπομπής φωτός (δίοδος GaAs), οι μπαταρίες λαμπτήρων υπέρυθρων και οι λαμπτήρες υπέρυθρων.

- Πηγές ορατού φωτός: το ηλιακό φως, το λέιζερ IPL(Intense Pulsed Light), η συγκόλληση, οι προβολείς και εν γένει ο φωτισμός.

- Πηγές υπεριώδους ακτινοβολίας: το ηλιακό φως (290 – 295 nm), οι βιομηχανικοί λαμπτήρες υπεριώδους ακτινοβολίας, οι λαμπτήρες μαύρου φωτός, οι λαμπτήρες υπεριώδους ακτινοβολίας για ιατρικές εφαρμογές (διαγνωστικές ή/και θεραπευτικές ή στη δερματολογία), οι μικροβιοκτόνοι λαμπτήρες (250 – 265 nm), οι λαμπτήρες UVA για το τεχνητό μαύρισμα του δέρματος, κλπ. [28], [10]

2.4 Θερμικές & μη θερμικές επιδράσεις

Οι θερμικές επιδράσεις σχετίζονται με την ικανότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (συμπεριλαμβανομένων των ραδιοκυμάτων που χρησιμοποιούνται στην ασύρματη επικοινωνία, όπως 5 G) να παράγει θερμότητα σε βιολογικούς ιστούς λόγω της απορρόφησης ενέργειας από την ακτινοβολία από τον ιστό. Η ενέργεια που απορροφάται μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της

θερμοκρασίας, επηρεάζοντας δυναμικά τις κυτταρικές διεργασίες. Η επίδραση μιας τέτοιας θερμότητας μπορεί να συμβεί όταν τα επίπεδα ισχύος της ακτινοβολίας είναι σχετικά υψηλά. Ρυθμιστικοί φορείς σε όλο τον κόσμο, όπως η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών (FCC) οι Ηνωμένες Πολιτείες, θέτουν όρια έκθεσης για την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, συμπεριλαμβανομένων των τεχνολογιών ασύρματης επικοινωνίας, προκειμένου να διασφαλίσουν ότι

τα επίπεδα ακτινοβολίας είναι κάτω από αυτά που είναι γνωστό ότι προκαλούν σημαντικές θερμικές επιπτώσεις που μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την ανθρώπινη υγεία. [36]

Οι μη θερμικές επιδράσεις αναφέρονται σε πιθανές βιολογικές επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που δεν συνεπάγονται αύξηση της θερμοκρασίας. Αποτελούν αντικείμενο συνεχούς έρευνας και συζήτησης από την επιστημονική κοινότητα. Σε επιστημονικές μελέτες αναφέρεται ότι η μη θερμική επίδραση συνδέεται με πιο χαμηλά επίπεδα έκθεσης στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, προκαλώντας μεταβολές στη λειτουργία των κυττάρων και εν γένει στη γονιδιακή έκφραση, καθώς και άλλες βιολογικές αλλαγές. [37]. Η έκθεση σε κύματα RF μπορεί να προκαλέσει βιολογικές αποκρίσεις σε κύτταρα και ιστούς πέρα από την απλή θέρμανση των ιστών. Σύμφωνα με Kabareuk (2019) [11], παρατηρούνται επιπτώσεις στη νευρωνική δραστηριότητα, την απελευθέρωση νευροδιαβιβαστών και τη διαπερατότητα του αιματοεγκεφαλικού φραγμού, με πιθανά νευρολογικά αποτελέσματα, όπως η νόσος του Αλτσχάιμερ και η νόσος του Πάρκινσον. Επιπλέον, έρευνες σε ζώα υποδεικνύουν επιπτώσεις της έκθεσης σε σήματα RF στην αναπαραγωγική λειτουργία, περιλαμβάνοντας αλλαγές στην ποιότητα του σπέρματος, τη γονιμότητα και την εγκυμοσύνη. [29]. Η συσχέτιση μεταξύ της έκθεσης σε ραδιοσυχνότητες RF, ιδιαίτερα από συσκευές ασύρματης επικοινωνίας, και του κινδύνου καρκίνου παραμένει αντικείμενο επιστημονικής συζήτησης. Ο Διεθνής Οργανισμός Έρευνας για τον Καρκίνο (IARC) έχει ταξινομήσει την ακτινοβολία ραδιοσυχνοτήτων ως «πιθανό καρκινογόνο» της Ομάδας 2B, με βάση επιδημιολογικές μελέτες που αναφέρουν αυξημένη συχνότητα καρκίνου σε πληθυσμούς με υψηλή έκθεση σε RF, χωρίς ωστόσο να υπάρχει επαρκής δεδομένων για τη σύσταση αποδείξεων. [29].

Τέλος, έχουν καταγραφεί πιθανές ψυχολογικές και συμπεριφορικές επιπτώσεις από την έκθεση σε RF, όπως μεταβολές στη διάθεση, τη γνωστική λειτουργία και τον ύπνο, με τα στοιχεία να παραμένουν περιορισμένα και ασαφή. [37]

2.5 Ο δείκτης SAR

Οι θερμικές επιδράσεις των ραδιοκυμάτων περιγράφονται από τον Ειδικό Ρυθμό Απορρόφησης (SAR - Specific Absorption Rate) [36], ο οποίος είναι ένα μέτρο του ρυθμού με τον οποίο απορροφάται η ισχύς (P) ανά μονάδα μάζας (M) του υλικού ή του ιστού που εκτίθεται σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, μετρημένο σε Watt ανά χιλιόγραμμα (W/kg), όπως φαίνεται στην ακόλουθη εξίσωση [36]:

$$SAR = \frac{P}{M} \quad (2.1)$$

Η εξίσωση (2.1) εκφράζει το γενικό τύπο για τον υπολογισμό του SAR.

Ο υπολογισμός των θερμικών επιδράσεων της ΗΜ ακτινοβολίας περιλαμβάνει διάφορους παράγοντες που εκφράζονται στην ακόλουθη εξίσωση [36]:

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho} \quad (2.2)$$

όπου σ είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του ιστού, E είναι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου του ραδιοκύματος και ρ είναι η πυκνότητα του ιστού.

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου μπορεί να υπολογιστεί με την ακόλουθη εξίσωση [12]:

$$E = \frac{\sqrt{S}}{2} \quad (2.3)$$

όπου S είναι η πυκνότητα ισχύος.

Στην εξίσωση (2.4) λαμβάνονται υπόψη πρόσθετοι παράγοντες για τον υπολογισμό του ειδικού ρυθμού απορρόφησης λόγω της έκθεσης σε ραδιοκύματα. Πιο συγκεκριμένα, λαμβάνονται υπόψη οι ιδιότητες των ιστών και οι επιδράσεις που εξαρτώνται από τη συχνότητα. [38]

$$SAR = \frac{2\pi \epsilon''(f) |E(f)|^2}{\rho} \quad (2.4)$$

όπου f είναι η συχνότητα του ραδιοκυμάτων, $\epsilon''(f)$ είναι ο συντελεστής διηλεκτρικής απώλειας που εξαρτάται από τη συχνότητα του ιστού και $|E(f)|^2$ είναι το τετράγωνο του πλάτους του ηλεκτρικού πεδίου του ραδιοκύματος.

Ο συντελεστής διηλεκτρικής απώλειας $\epsilon''(f)$ είναι η διασπορά ενέργειας λόγω των διηλεκτρικών ιδιοτήτων του ιστού. Είναι μια σύνθετη ποσότητα που αντιπροσωπεύει το φανταστικό μέρος της σχετικής διηλεκτρικής σταθεράς (ϵ_r) του ιστού. Η τελευταία, είναι γενικά μιγαδικός αριθμός[39]:

$$\epsilon_r(f) = \epsilon' + j\epsilon''(f) \quad (2.5)$$

όπου το ϵ' είναι το πραγματικό μέρος της σχετικής και $j\epsilon''(f)$ το φανταστικό.

Οι ρυθμιστικοί φορείς θέτουν όρια στην τιμή του SAR για να διασφαλίσουν ότι η ενέργεια που απορροφάται από το ανθρώπινο σώμα από τα ραδιοκύματα δεν οδηγεί σε σημαντικές αυξήσεις θερμοκρασίας, γεγονός που θα μπορούσε να βλάψει την ανθρώπινη υγεία.

2.5.1 Δείκτης SAR και απόσταση

Ο δείκτης SAR και η απόσταση από μια πηγή ακτινοβολίας επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του νόμου του αντίστροφου τετραγώνου, των χαρακτηριστικών της κεραίας εκπομπής και των ιδιοτήτων του ιστού σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση [36]:

$$SAR = \frac{S4\pi r^2 t}{V\rho} \quad (2.6)$$

όπου r είναι η απόσταση από την πηγή, V είναι ο όγκος του εκτεθειμένου ιστού και S είναι η πυκνότητα ισχύος.

Η πυκνότητα ισχύος δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$S = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (2.7)$$

Συνδυάζοντας της Εξισώσεις (2.6) και (2.7) φαίνεται η συσχέτιση μεταξύ του SAR και της απόστασης από την πηγή ισχύος. Καθώς η απόσταση μειώνεται, το SAR αυξάνεται.

2.6 Επιπτώσεις της ακτινοβολίας στην υγεία

2.6.1 Εισαγωγική βιβλιογραφική ανασκόπηση

Η διάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, ιδιαίτερα με την εφαρμογή της τεχνολογίας 5G, έχει προκαλέσει σημαντική επιστημονική προσοχή εξαιτίας των πιθανών επιπτώσεων της στην ανθρώπινη υγεία. Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει οδηγήσει σε εντατική μελέτη των θερμικών και μη θερμικών επιδράσεων της ακτινοβολίας ραδιοσυχνότητας, καθώς και στις μακροπρόθεσμες συνέπειες της έκθεσης. Σύμφωνα με τους Fernández et al. [30], οι οποίοι μελέτησαν την ηλεκτρομαγνητική έκθεση λόγω κινητών επικοινωνιών σε εξωτερικά περιβάλλοντα, η τεχνολογία 5G δεν ξεπερνά τα όρια ασφαλούς έκθεσης, παρότι διαφέρει σημαντικά σε χαρακτηριστικά από προηγούμενες γενιές δικτύων.

Σημαντική ερευνητική δραστηριότητα επικεντρώνεται στις βιολογικές επιδράσεις της ραδιοσυχνότητας, πέρα από την απλή θερμική επίδραση. Οι Sofri et al. [40] τονίζουν τη σημασία της διερεύνησης της επίδρασης της ακτινοβολίας RF στη γνωστική απόδοση, σημειώνοντας ότι οι αλλαγές στη λειτουργία του νευρικού συστήματος μπορεί να είναι πολυδιάστατες. Παράλληλα, οι Laissaoui et al. [31] μελέτησαν τον δείκτη Specific Absorption Rate (SAR) και βρήκαν ότι η έκθεση του κεφαλιού σε ακτινοβολία που εκπέμπεται από smartphones προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας, γεγονός που συνδέεται με τη διάρκεια και την ένταση της έκθεσης. Ο αντίκτυπος αυτής της επίδρασης ενισχύεται όταν πρόκειται για συσκευές που λειτουργούν με βάση την τεχνολογία IR-UWB, όπως καταδεικνύουν οι Thotahewa et al. [32]. Οι Annalakshmi & Umarani [27] εστίασαν στις επιπτώσεις της τεχνολογίας 5G σε ανθρώπους, αναλύοντας την ακτινοβολία στα 28 GHz και καταλήγοντας ότι οι δείκτες SAR μεταβάλλονται ανάλογα με τη συχνότητα, επηρεάζοντας κυρίως τα επιφανειακά στρώματα του δέρματος. Οι παρατηρήσεις αυτές είναι σημαντικές, καθώς σχετίζονται με την αύξηση της χρήσης των millimeter waves στο 5G. Επιπλέον, οι Yang et al. [41] μελέτησαν τους κινδύνους παρεμβολής του 5G σε αεροπορικές λειτουργίες.

Η συσχέτιση της ακτινοβολίας RF με νευρολογικές διαταραχές αποτελεί ακόμη ένα κρίσιμο πεδίο μελέτης. Ο Di Ciaula [42] αναφέρει ότι τα RF κύματα μπορεί να επηρεάσουν την απελευθέρωση νευροδιαβιβαστών και να συμβάλλουν στην εμφάνιση παθήσεων όπως η νόσος του Αλτσχάιμερ. Οι Sathiya & Kalpana R. [48] παραθέτουν επιπλέον στοιχεία για αλλαγές στη διάθεση, τη γνωστική λειτουργία και τον ύπνο, υπογραμμίζοντας ότι ορισμένες από τις παρατηρήσεις αυτές χρειάζονται περαιτέρω επιβεβαίωση. Η επίδραση της RF ακτινοβολίας στον κίνδυνο καρκινογένεσης συνεχίζει να αποτελεί θέμα συζήτησης. Αν και αρκετές επιδημιολογικές μελέτες, όπως αυτές των Nasir & Rani [13] και Annalakshmi & Umarani [27], καταδεικνύουν αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου σε πληθυσμούς με υψηλή έκθεση, τα διαθέσιμα δεδομένα εξακολουθούν να είναι ανεπαρκή για σαφή συμπεράσματα. Ο Διεθνής Οργανισμός Έρευνας για τον Καρκίνο (IARC) έχει ταξινομήσει τη ραδιοσυχνότητα ως «πιθανό καρκινογόνο» (Ομάδα 2B), αναδεικνύοντας την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα.

Περαιτέρω, η έρευνα σε ζώα, όπως αναφέρεται από τους Yakymenko & Tsybulin [29], αναδεικνύει επιπτώσεις στην αναπαραγωγική λειτουργία, συμπεριλαμβανομένης της ποιότητας του σπέρματος και της γονιμότητας. Αν και τα δεδομένα για τον άνθρωπο είναι πιο περιορισμένα, η συγκεκριμένη πτυχή παραμένει κρίσιμη. Παράλληλα, οι Ayidh Saad & Mahdi Alsallum et al. [17] διερευνούν στρατηγικές μείωσης της ακτινοβολίας, τονίζοντας τη σημασία της σωστής διαχείρισης και ενημέρωσης.

Ολοκληρώνοντας, οι επιστημονικές μελέτες αναδεικνύουν τη σημασία της κατανόησης των βιολογικών επιδράσεων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και της συνεχούς αξιολόγησης των κινδύνων. Παρότι η τεχνολογία 5G φέρνει νέες δυνατότητες στις επικοινωνίες, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για τη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης ασφάλειας.

Η έκθεση στην ιονίζουσα ακτινοβολία έχει προκαλέσει έντονες συζητήσεις και επιστημονική έρευνα σχετικά με τις βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Σύμφωνα με τους Karbiwnyk et al. [50], η δόση ιονίζουσας ακτινοβολίας στο δέρμα που ανιχνεύεται σε καταναλωτικά προϊόντα, όπως αυτά που περιέχουν 232th, καταδεικνύει τη σημασία της ταχείας αξιολόγησης της έκθεσης σε ακτινοβολία σε καθημερινές εφαρμογές. Παράλληλα, οι Bernier et al. [52] περιγράφουν τους μηχανισμούς που ενδέχεται να προκαλέσουν καρκινογένεση λόγω ακτινοβολίας, παρουσιάζοντας πειραματικά δεδομένα που υποστηρίζουν αυτές τις υποθέσεις.

Η συσχέτιση μεταξύ της επαγγελματικής έκθεσης και των κινδύνων ανάπτυξης καρκίνου έχει διερευνηθεί ευρέως. Οι Cardis et al. [51], στη μεγαλύτερη επιδημιολογική μελέτη μέχρι σήμερα, ανέλυσαν δεδομένα από 407.391 εργάτες στην πυρηνική βιομηχανία και κατέληξαν σε μια δοσοεξαρτώμενη αύξηση της θνησιμότητας από καρκίνο. Μεταξύ των 31 τύπων καρκίνου που αναλύθηκαν, υπήρξε έντονη συσχέτιση με τον καρκίνο του πνεύμονα και την ανάπτυξη πολλαπλού μυελώματος, αναδεικνύοντας την ανάγκη για μακροπρόθεσμη παρακολούθηση.

Επιπλέον, οι Little et al. [52] περιγράφουν τη σχέση της ακτινοβολίας με καρδιαγγειακές παθήσεις, εστιάζοντας στην αθηροσκλήρωση ως κύρια αιτία στεφανιαίας νόσου και εγκεφαλικών επεισοδίων. Αναφέρουν ότι η έκθεση σε χαμηλής δόσης ιονίζουσα ακτινοβολία στο εργασιακό περιβάλλον ενδέχεται να αυξάνει τον κίνδυνο καρδιαγγειακής νόσου. Σημαντικές πληροφορίες για τις χρόνιες επιδράσεις της ακτινοβολίας παρέχονται και από τους Takahashi et al. [54], οι οποίοι μελέτησαν τον κίνδυνο εγκεφαλικών επεισοδίων, ενώ αναφέρθηκαν σε μοντέλα ζώων που ενισχύουν τις παρατηρήσεις αυτές.

Οι επιδράσεις της ακτινοβολίας στο νευρικό σύστημα εξετάζονται από τους Kiang & Olabisi [55], οι οποίοι περιγράφουν το σύνδρομο οξείας ακτινοβολίας (ARS) και τη συσχέτισή του με βλάβες στο DNA, στο αιμοποιητικό σύστημα και στη γαστρεντερική οδό. Ειδική αναφορά γίνεται στις μακροπρόθεσμες συνέπειες, όπως η σπληνομεγαλία και η εγκεφαλική αιμορραγία, καθώς και στις στρατηγικές θεραπείας και πρόληψης από την ακτινοβολία. Επιπρόσθετα, οι Morgan & Sowa [86] συνδέουν την ακτινοβολία με μακροπρόθεσμες γενετικές επιπτώσεις, περιγράφοντας την κληρονομικότητα βλαβών που σχετίζονται με ακτινοβολία και τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.

Αναφορικά με την κοινωνική αντίληψη, ο Slovic [53] εξετάζει την επίδραση της ακτινοβολίας στις αντιλήψεις κινδύνου και την ανάγκη αποτελεσματικής επικοινωνίας σχετικά με τους κινδύνους. Αυτή η προσέγγιση υπογραμμίζει τη σημασία της σωστής διαχείρισης της πληροφορίας, ειδικά σε κοινότητες που εκτίθενται σε περιβάλλοντα υψηλής ακτινοβολίας.

Συμπληρωματικά, οι Takahashi et al. [54] υπογραμμίζουν τη σημασία των ζωικών μοντέλων για την κατανόηση της σχέσης μεταξύ ακτινοβολίας και παθήσεων του κυκλοφορικού συστήματος, ενώ οι αναφορές τους υπογραμμίζουν τη δυσκολία κατανόησης των κινδύνων που σχετίζονται με παρατεταμένες χαμηλές δόσεις ακτινοβολίας. Σε διαφορετικό πλαίσιο, οι Amaireh και Zhang [14] καταλήγουν ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που παράγεται από τεχνολογίες Wi-Fi και 5G δεν αποτελεί σημαντικό κίνδυνο για την υγεία, εφόσον η έκθεση παραμένει εντός των κατευθυντήριων γραμμών ασφαλείας.

Η συνολική επιστημονική εικόνα περιγράφει την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα, καθώς οι υπάρχουσες μελέτες αποκαλύπτουν την πολυπλοκότητα της σχέσης μεταξύ ακτινοβολίας και υγείας. Η ανάλυση κινδύνου, οι μηχανισμοί καρκινογένεσης, οι νευρολογικές και καρδιαγγειακές επιπτώσεις,

καθώς και οι κοινωνικές συνέπειες της ακτινοβολίας, αποτελούν πεδία που απαιτούν συνεχή αξιολόγηση, τόσο σε πειραματικό όσο και σε επιδημιολογικό επίπεδο.

2.6.2 Επιπτώσεις της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας

Η μη ιονίζουσα ακτινοβολία αποτελεί ένα πεδίο εντατικής επιστημονικής έρευνας λόγω των πιθανών επιπτώσεων της στην ανθρώπινη υγεία. Σε αντίθεση με την ιονίζουσα ακτινοβολία, η μη ιονίζουσα δεν προκαλεί ιονισμό των μορίων αλλά επιφέρει διεγέρσεις ή αύξηση της ενέργειας περιστροφής και δόνησης, οδηγώντας στη θέρμανση των μορίων [28] [49]. Οι εφαρμογές της περιλαμβάνουν τη χρήση σε γραμμές μετάδοσης, σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, κεραίες ραδιοφώνου και τηλεόρασης, κινητά τηλέφωνα, λείζερ, φούρνους μικροκυμάτων και ποικίλες ηλεκτρονικές, οπτικές και ιατρικές συσκευές [35].

Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, βασικό στοιχείο της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας, μπορούν να έχουν ποικίλες επιδράσεις στον ανθρώπινο οργανισμό [4]. Αν και η γενική θεώρηση είναι ότι τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία δεν επιφέρουν μη θερμικές επιδράσεις σε κύτταρα και ιστούς, παρατηρείται ότι πεδία μεγάλης ισχύος άνω των 1.000 kV/m μπορούν να προκαλέσουν αλλαγές στη μεμβράνη των κυττάρων [43-44]. Ταυτόχρονα, η χρήση ραδιοσυχνοτήτων μέτριας ισχύος σε θεραπευτικές εφαρμογές θεωρείται ασφαλής, συγκρινόμενη με την έκθεση από την κινητή τηλεφωνία [46]. Τα πεδία RF έχουν συνδεθεί με διάφορες βιολογικές επιπτώσεις, όπως λευχαιμία, νευρολογικές διαταραχές, πονοκεφάλους, βραδυκαρδία, ζάλη και κατάθλιψη [47]. Η έντονη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος, ειδικά συνεχούς, μπορεί να οδηγήσει σε εγκαύματα λόγω του φαινομένου της ηλεκτρόλυσης [47].

Η ακτινοβολία ραδιοσυχνοτήτων και μικροκυμάτων έχει εξεταστεί για τις επιδράσεις της στην υγεία μέσω της θέρμανσης των ιστών, ιδιαίτερα σε εφαρμογές όπως η τηλεφωνία, το Wi-Fi και τα στρατιωτικά ραντάρ [33]. Παλαιότερες αναφορές από τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο καταγράφουν πονοκεφάλους, ερεθισμούς και μειωμένη πνευματική απόδοση στους χειριστές στρατιωτικών ραντάρ [28]. Παρόμοιες επιδράσεις, όπως ερύθημα και ερεθισμοί, παρατηρούνται και σε εφαρμογές κοσμετολογίας που κάνουν χρήση RF [43]. Ενδείξεις πρόκλησης καρκίνου από την ακτινοβολία της κινητής τηλεφωνίας έχουν αναφερθεί, ενώ οι έρευνες συνεχίζονται για να κατανοηθούν οι μακροπρόθεσμες συνέπειες [43].

Στην περίπτωση των συστημάτων 5G, τα σήματα MMW υψηλότερης συχνότητας έχουν μικρό βάθος διείσδυσης, επηρεάζοντας κυρίως τα επιφανειακά στρώματα του δέρματος. Παρότι η θέρμανση λόγω απορρόφησης της ακτινοβολίας είναι περιορισμένη, οι συνέπειες της παρατεταμένης έκθεσης σε συνδυασμό με άλλες ραδιοσυχνότητες παραμένουν ανεξερεύνητες [33]. Έχει αναφερθεί υπερευαισθησία των οργανισμών στα σήματα MMW ανεξάρτητα από το μήκος κύματος, ενώ τα όρια ασφαλείας που έχουν οριστεί βασίζονται σε εκτιμήσεις για την ενέργεια που απορροφάται από τους ιστούς [15].

Αναφορικά με την υπέρυθη ακτινοβολία και το υπεριώδες φως, η έκθεση έχει συνδεθεί με θερμικές βλάβες, όπως εγκαύματα του δέρματος και του κερατοειδούς, ερύθημα και φωτοευαισθητοποίηση [35], [45]. Η ακτινοβολία IRA μπορεί να προκαλέσει επιπλοκές στον αμφιβληστροειδή, ενώ η IRB και η IRC συνδέονται με βλάβες στον κερατοειδή και το υδατοειδές υγρό [16]. Παρά το γεγονός ότι οι βιολογικές επιπτώσεις της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας διερευνώνται ενεργά [15], η επιστημονική κοινότητα συμφωνεί ότι η έκθεση σε χαμηλής έντασης σήματα όπως αυτά του 5G και του Wi-Fi είναι γενικά ασφαλής [43], [15]. Η διερεύνηση των μακροπρόθεσμων συνεπειών

της παρατεταμένης έκθεσης παραμένει κρίσιμη για την κατανόηση των μηχανισμών αλληλεπίδρασης και την προστασία της δημόσιας υγείας [44].

Τέλος, το ορατό φως που υπάρχει στο ηλιακό φως, στους εξοπλισμούς συγκόλλησης και σε ορισμένες συσκευές λέιζερ, όπως π.χ. το IPL που χρησιμοποιείται στην κοσμετολογία. Παρότι το ορατό φως προκαλεί θερμικές και φωτοχημικές επιδράσεις, δεν διαθέτει την απαραίτητη ενέργεια για να προκαλέσει ιονισμό των μορίων. Η υπεριώδης ακτινοβολία, ωστόσο, που βρίσκεται κοντά στο ορατό φάσμα, έχει μεγαλύτερη ενέργεια και μπορεί να επηρεάσει βιολογικούς ιστούς προκαλώντας γήρανση του δέρματος, φωτοευαισθητοποίηση, ακόμη και καρκινογένεση. Τα λέιζερ, ανάλογα με το μήκος κύματος τους, μπορεί να ανήκουν είτε στη μη ιονίζουσα (π.χ. λέιζερ ορατού φωτός) είτε να πλησιάζουν την υπεριώδη ακτινοβολία. Τα λέιζερ τύπου 2 και 3 που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές ορατού φωτός μπορεί να προκαλέσουν βλάβες στον αμφιβληστροειδή, τον κερατοειδή και τον φακό. Τα χειρουργικά λέιζερ τύπου 4, που χρησιμοποιούνται για συγκόλληση, μπορεί να προκαλέσουν δερματικά εγκαύματα ή βλάβες στους ιστούς. Επιπλέον, η υπερβολική χρήση συσκευών IPL ή λέιζερ κοσμετολογίας μπορεί να οδηγήσει σε φουσκάλες, υπερμελάγχρωση ή υπομελάγχρωση, αλλαγές στην υφή του δέρματος και άλλες επιπτώσεις. Για την ασφαλή χρήση των λέιζερ, συνιστάται ο περιορισμός της ενέργειας ακτινοβολίας, η εφαρμογή ειδικών οδηγιών προς το προσωπικό και η χρήση προστατευτικού εξοπλισμού όπως γυαλιά ασφαλείας για την προστασία των ματιών [35].

2.6.3 Επιπτώσεις της ιονίζουσας ακτινοβολίας

Οι ακτίνες α , β , γ και X έχουν επαρκή ενέργεια για να προκαλέσουν ιονισμό, δηλαδή τη μετατροπή των ατόμων ή μορίων σε ιόντα, προκαλώντας βιολογικές και χημικές αλλαγές στους ζωντανούς οργανισμούς. Αυτή η μορφή ακτινοβολίας χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές όπως η ιατρική διάγνωση (π.χ. ακτίνες X), η θεραπεία καρκίνου και η βιομηχανική έρευνα. Παράλληλα, υπάρχει αυξημένος κίνδυνος μακροπρόθεσμων επιπτώσεων όπως η καρκινογένεση λόγω της επίδρασης στο DNA των κυττάρων [35].

Επίσης, η υπεριώδης ακτινοβολία που απαντάται στο ηλιακό φως, εκπέμπεται από πολλές συσκευές που χρησιμοποιούνται στον τομέα της βιομηχανίας, στην ιατρική και σε άλλες επιστήμες. Αυτός ο τύπος ακτινοβολίας έχει φωτοχημικά αποτελέσματα. Στο μάτι, μπορεί να οδηγήσει σε καταρράκτη και φωτοεπιπεφυκίτιδα. Οι επιπτώσεις στο δέρμα είναι ερύθημα ή ηλιακό έγκαυμα, φωτοευαισθητοποίηση και άλλες επιδράσεις όπως η γήρανση του δέρματος και η καρκινογένεση. [35]

Οι ακτίνες με χαμηλότερη συχνότητα (χαμηλότερη ενέργεια) και μεγαλύτερο μήκος κύματος είναι λιγότερο διεισδυτικές και παραμένουν στην επιφάνεια (ακτίνες α , β και υπεριώδεις ακτίνες). Οι ακτίνες με υψηλότερη συχνότητα (υψηλότερη ενέργεια) και μικρότερο μήκος κύματος παράγουν ακτίνες που διεισδύουν βαθιά (ακτίνες X υψηλής ενέργειας και ακτίνες γ). Και στις δύο περιπτώσεις, υπάρχει ο σχηματισμός ενδοκυττάρων ελεύθερων ιόντων που προκαλούν καταστροφή των κυττάρων, είτε επιφανειακές είτε βαθιές.

Για τα φορτισμένα σωματίδια, η βιολογική ζημιά θα είναι μεγαλύτερη καθώς όσο μεγαλύτερο είναι το φορτισμένο σωματίδιο και τόσο μικρότερη είναι η ενέργειά του. Η ικανότητα διείσδυσης θα είναι μεγαλύτερη καθώς όσο μεγαλύτερη είναι η ενέργειά του και τόσο μικρότερο είναι το μέγεθος. [28], [35]

Λόγω της συχνότερης και ευεργετικής χρήσης της ιονίζουσας ακτινοβολίας στην ιατρική, τη βιομηχανία και την επιστήμη (πυρηνικά εργοστάσια, ακτινογραφίες, πυρηνική ιατρική, ραδιοφάρμακα, ακτινοθεραπεία) και για στρατιωτικές και ειρηνικές εφαρμογές, οι επιπτώσεις της ιονίζουσας ακτινοβολίας έχουν διερευνηθεί και συζητηθεί διεξοδικά. Έχει επιτρέψει την ανάπτυξη μέτρων για την προστασία της ανθρώπινης υγείας από την ιονίζουσα ακτινοβολία. Οι μελέτες για τις βιολογικές

επιπτώσεις τηςιονίζουσας ακτινοβολίας συνεχίζονται καθώς αναπτύσσονται νέες συσκευές και τεχνολογίες που χρησιμοποιούν αυτό το είδος ακτινοβολίας. Ηιονίζουσα ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει καρκίνο και η πιθανότητα εμφάνισης αυξάνεται με τη δόση της ακτινοβολίας που λαμβάνεται.

Η αύξηση της χρήσηςιονίζουσας ακτινοβολίας στη βιομηχανία, τη σύγχρονη ιατρική και διαφορετικούς τύπους επιστημονικών εργαστηρίων έχει οδηγήσει σε αύξηση των δερματικών βλαβών και εγκαυμάτων, είτε σκόπιμα (ακτινοθεραπεία), ρύπανσης (πυρηνικά ατυχήματα, πόλεμοι) είτε τυχαία (εργασία). Η έκθεση σειονίζουσα ακτινοβολία κάτω από το όριο δεν θα έχει ντετερμινιστικά αποτελέσματα. Επιπλέον, τα πρότυπα προστασίας για τους εκτεθειμένους εργαζόμενους πρέπει να βασίζονται στον κίνδυνο ανεξάρτητα από το επίπεδο έκθεσης.

Οι προφυλάξεις ασφαλείας έχουν αφαιρέσει τους οξείς τραυματισμούς εκτεθειμένων εργαζομένων και ασθενών που υποβάλλονται σε ακτινοθεραπεία. Στη χρήση της ακτινοθεραπείας η θεραπευτική δόση πρέπει να είναι ακριβής για να μην προκαλεί εγκαύματα. Ωστόσο, επί του παρόντος, πολλοί ασθενείς που υποβάλλονται σε ακτινοθεραπεία έχουν κάποια βλάβη και έγκαυμα φυσιολογικού ιστού.

Οι βιολογικές επιδράσεις τηςιονίζουσας ακτινοβολίας είναι αποτέλεσμα κυρίως της βλάβης στο DNA. Ηιονίζουσα ακτινοβολία μπορεί να εκτοξεύσει ηλεκτρόνια από το άτομο ή το μόριο και να μετατρέψει το άτομο ή το μόριο σε ιόν. Στην περίπτωση των ιστών, μπορεί να προκαλέσει βλάβη στο DNA, προκαλώντας βλάβες και μεταλλάξεις στον γενετικό του κώδικα και καρκίνο. [1], [28], [35]

Όταν ένα τμήμα του οργανισμού ακτινοβολείται, απαιτούνται υψηλές δόσεις για να προκληθούν σημαντικές βλάβες. Κάθε τύπος ιστού θα έχει διαφορετική απόκριση ανάλογα με την ραδιοευαισθησία του. Οι καρκινογόνες και γονιδιοτοξικές επιδράσεις αυξάνονται ανάλογα με τη δόση (γραμμική λειτουργία και χωρίς ουδό). Η ευαισθησία των εκτεθειμένων κυττάρων ποικίλλει ανάλογα με τον ρυθμό πολλαπλασιασμού. Το έμβρυο και το παιδί είναι τα πιο ευάλωτα.

Το δέρμα είναι το πρώτο εμπόδιο που εντοπίζει η ακτινοβολία στον οργανισμό, αν και μπορεί να υπάρχουν και περιπτώσεις εισπνοής ή κατάποσης ραδιενεργών ουσιών. Τα κύτταρα της βασικής στιβάδας του δέρματος είναι τα πιο ραδιοευαίσθητα και προσεγγίζονται από ακτινοβολίες πολύ χαμηλής ενέργειας, ακόμη και από το φάσμα της υπεριώδους ακτινοβολίας. Κατά συνέπεια, οι δερματικές βλάβες είναι οι πιο συχνές από όλες τις ραδιοεπαγόμενες ιστοπαθολογικές αντιδράσεις. Τα ώριμα κύτταρα που δεν βρίσκονται σε διαδικασία διαίρεσης είναι ραδιοανθεκτικά, αλλά τα κύτταρα που διαιρούνται μέσα σε έναν ιστό είναι ραδιοευαίσθητα.

Συνοπτικά, η έκθεση στηνιονίζουσα ακτινοβολία μπορεί να οδηγήσει σε τραυματισμούς με θανατηφόρα αποτελέσματα σε κληρονομικές διαταραχές, γενετικές ανωμαλίες και καρκίνους που εμφανίζονται μέσα σε δεκαετίες, χρόνια ή μήνες. Η έκταση του τραυματισμού και οι επιπτώσεις όπως τα δερματικά εγκαύματα εξαρτώνται από τον τύπο της ακτινοβολίας καθώς και από τις συνθήκες έκθεσης και τις δόσεις. Αυτά τα αποτελέσματα βρίσκονται σε μεγαλύτερες ποσότητες σε ασθενείς με ακτινοθεραπεία ή άτομα με σοβαρή ακτινοβολία ή πυρηνικά ατυχήματα ή ατομικές βόμβες. [35]

Κεφάλαιο 3ο: Ευρωπαϊκά Πρότυπα-Κανονισμοί, Οργανισμοί και Νομοθεσία

3.1 Ευρωπαϊκά Πρότυπα

Ως πρότυπα θεωρούνται όλα τα τεχνικά έγγραφα που λειτουργούν ως κανονισμοί και τα οποία αποτελούν πεδίο εφαρμογής από συγκεκριμένη ομάδα μελών, εξυπηρετώντας έναν καθορισμένο κοινό σκοπό. Ειδικότερα, το Ευρωπαϊκό Πρότυπο (EN) έχει αναπτυχθεί από τους Ευρωπαϊκούς Οργανισμούς Τυποποίησης (CEN, CENELEC, ETSI) και αποτελεί ένα κείμενο που προσφέρει πλαίσιο εφαρμογής για 34 χώρες. Δημιουργήθηκε για να εξυπηρετήσει την επίτευξη κοινών στόχων και πρέπει να τηρείται καθολικά. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN), η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ηλεκτροτεχνικής Τυποποίησης (CENELEC) και το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI) είναι τρεις ιδιωτικοί μη κερδοσκοπικοί οργανισμοί που συνεργάζονται για την ανάπτυξη και την έκδοση Ευρωπαϊκών Προτύπων [18], [19].

Προκειμένου να σχεδιαστεί ένα Ευρωπαϊκό Πρότυπο, τα μέλη των οργανισμών CEN και CENELEC εργάζονται από κοινού για την ανάπτυξή του, έχοντας ως στόχο την προώθηση του ευρωπαϊκού εμπορίου και την ενίσχυση της ευρωπαϊκής αγοράς και οικονομίας. Σε κάθε περίπτωση, η ανάπτυξη κάθε Ευρωπαϊκού Προτύπου πρέπει να στηρίζεται σε αξίες διαφάνειας και συναίνεσης, αποτελώντας κοινή δέσμευση μεταξύ των εθνών ως προς την τήρησή του. Με λίγα λόγια, ένα πρότυπο είναι ένα τεχνικό έγγραφο που έχει σχεδιαστεί για να χρησιμοποιείται ως κανόνας, κατευθυντήρια γραμμή ή ορισμός. Τα πρότυπα δημιουργούνται από όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη, όπως κατασκευαστές, καταναλωτές και ρυθμιστές ενός συγκεκριμένου υλικού, προϊόντος, διαδικασίας ή υπηρεσίας, και στοχεύουν στη βελτίωση της ασφάλειας, της ποιότητας και της αποτελεσματικότητας, ενώ παράλληλα μειώνουν το κόστος και τις τιμές συναλλαγών. Ένα Ευρωπαϊκό Πρότυπο (EN) εφαρμόζεται από τα εθνικά μέλη της CEN και της CENELEC ως εθνικό πρότυπο και, ως εκ τούτου, περιλαμβάνεται στον κατάλογο προτύπων των μελών τους, των Εθνικών Οργανισμών Τυποποίησης σε 34 χώρες.

Πρακτικά, οποιοσδήποτε μπορεί να εισηγηθεί την εργασία που θα οδηγήσει στη δημιουργία ενός Ευρωπαϊκού Προτύπου. Στη CEN και τη CENELEC, η εργασία διοχετεύεται συνήθως από τα μέλη τους (Εθνικούς Φορείς Τυποποίησης της CEN και Εθνικές Επιτροπές της CENELEC). Ωστόσο, αιτήματα για την έκδοση προτύπων μπορούν να εισηγηθούν και από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή ή άλλα ενδιαφερόμενα μέρη. Όταν τα μέλη της CEN ή/και της CENELEC αποφασίσουν να συμμετάσχουν στη διαδικασία ανάπτυξης ενός προτύπου, η εργασία ανατίθεται σε μια τεχνική επιτροπή (TC) ανάλογα με το επιστημονικό πεδίο και τον τομέα εφαρμογής. Οι επιτροπές αντικατοπτρισμού των ενδιαφερόμενων σε εθνικό επίπεδο αποφασίζουν για τις εθνικές συνεισφορές σχετικά με την ανάπτυξη του προτύπου, ενώ οι τεχνικές επιτροπές απαρτίζονται και από παρατηρητές όπως μέλη του ISO/IEC, της Ευρωπαϊκής Επιτροπής/ΕΖΕΣ, ευρωπαίους εταίρους ή βιομηχανικές ενώσεις.

Αφού αξιολογηθεί και εγκριθεί η πρόταση για ένα εν δυνάμει πρότυπο, η πρόταση περνά στο στάδιο της σύνταξης το οποίο στηρίζεται στην συναίνεση των εμπλεκόμενων μελών. Όταν οριστικοποιηθεί το προσχέδιο του προτύπου, υποβάλλεται σε δημόσια έρευνα ανοιχτή σε όλα τα ενδιαφερόμενα μέλη. Τα στάδια που ακολουθούν την ολοκλήρωση της έρευνας, είναι η αξιολόγηση και βάσει των αποτελεσμάτων το σχέδιο του προτύπου εγκρίνεται και είτε δημοσιεύεται είτε υπόκειται σε περαιτέρω επεξεργασία εφόσον χρειαστεί να υπάρξουν τροποποιήσεις ή ανασχεδιασμός. Θα πρέπει, επίσης, να σημειωθεί ότι τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα αναπτύσσονται για να διευκολύνουν τη συμμόρφωση με ευρωπαϊκούς κανόνες και κανονισμούς, όπως η νομοθεσία της ΕΕ.

Η CEN και η CENELEC αποτελούν κορυφαίους παρόχους Ευρωπαϊκών Προτύπων και σχετικών προϊόντων και υπηρεσιών προς όφελος των επιχειρήσεων, των καταναλωτών και άλλων τυπικών χρηστών στην Ευρώπη. Υποστηρίζουν ενεργά τη διεθνή τυποποίηση και συνεργάζονται στενά με τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (ISO) και τη Διεθνή Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (IEC).

Τα ευρωπαϊκά πρότυπα συνήθως υπαγορεύονται από τις ανάγκες των επιχειρήσεων και καταρτίζονται μέσω μιας διαφανούς, βασισμένης στη συναίνεση διαδικασίας στην οποία συμμετέχουν τα ενδιαφερόμενα μέρη.

Σε κάθε περίπτωση ο στόχος των παραπάνω ευρωπαϊκών φορέων τυποποίησης είναι η παραγωγή και η ανάπτυξη προτύπων υψηλής ποιότητας για προϊόντα και υπηρεσίες λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις για ποιότητα, ασφάλεια, προστασία του περιβάλλοντος, διαλειτουργικότητα και προσβασιμότητα σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Τέλος, ενσωματώνουν όλες τις νέες εξελίξεις και υποστηρίζουν την ευρωπαϊκή ανταγωνιστικότητα, την προστασία του περιβάλλοντος και τη βιώσιμη ανάπτυξη για την ευημερία των πολιτών και την ενίσχυση της ενιαίας αγοράς (Ευρωπαϊκός Οικονομικός Χώρος).

3.2 Δίκτυο CEN & CENELEC

Η CEN, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης, είναι μια ένωση η οποία έχει ενσωματώσει τους Εθνικούς Φορείς Τυποποίησης 34 ευρωπαϊκών χωρών. Προσφέρει μια πλατφόρμα για την ανάπτυξη και τον σχεδιασμό Ευρωπαϊκών Προτύπων και άλλων τεχνικών εγγράφων που καλύπτουν διάφορους τομείς, προϊόντα, υλικά, υπηρεσίες και διαδικασίες. Η CEN δραστηριοποιείται στην υποστήριξη της τυποποίησης σε ένα ευρύ φάσμα πεδίων εφαρμογής, όπως η χημεία, οι κατασκευές, τα καταναλωτικά προϊόντα, η άμυνα, η ασφάλεια, η ενέργεια, το περιβάλλον, η υγεία και οι μεταφορές.

Τα πρότυπα είναι τεχνικά έγγραφα που προορίζονται να λειτουργούν ως κανονισμοί, κανόνες ή κατευθυντήριες γραμμές με στόχο την βελτίωση της ασφάλειας, της ποιότητας και της αποτελεσματικότητας, μειώνοντας παράλληλα το κόστος και τις τιμές συναλλαγών. Τα πρότυπα δημιουργούνται από ενδιαφερόμενα μέρη, όπως κατασκευαστές, καταναλωτές και ρυθμιστές, και στηρίζονται σε συναίνεση, επιστήμη, τεχνολογία και εμπειρία. Στόχος τους είναι η προώθηση των βέλτιστων αποτελεσμάτων για την κοινότητα.

Ένα Ευρωπαϊκό Πρότυπο (EN) εφαρμόζεται ως εθνικό πρότυπο από τα μέλη της CEN και της CENELEC και προσφέρεται ως πλαίσιο για την επίτευξη κοινών στόχων σε 34 χώρες. Η ανάπτυξή του βασίζεται σε αξίες διαφάνειας, κοινού σκοπού και δέσμευσης, προωθώντας την ενιαία ευρωπαϊκή αγορά και το εμπόριο.

Η CEN στις αρχές του 2025 απαριθμεί 2.263 ενεργούς τεχνικούς φορείς, όπως τεχνικές επιτροπές, εργαστήρια, υποεπιτροπές και ομάδες εργασίας, και έχει παράξει 1.073 έγγραφα για το 2024. Αυτά περιλαμβάνουν δημοσιευμένα πρότυπα, τεχνικές προδιαγραφές, εκθέσεις και συμφωνίες εργαστηρίου. Ο συνολικός αριθμός εγγράφων διαβίωσης είναι 18.741 και περιλαμβάνει 16.880 Ευρωπαϊκά Πρότυπα, 686 Τεχνικές Προδιαγραφές και άλλα παραδοτέα. Τα μέλη της CEN περιλαμβάνουν Εθνικούς Φορείς Τυποποίησης από 27 χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, το Ηνωμένο Βασίλειο, τη Δημοκρατία της Βόρειας Μακεδονίας, τη Σερβία και την Τουρκία, καθώς και χώρες της Ευρωπαϊκής Ζώνης Ελεύθερων Συναλλαγών, όπως η Ισλανδία, η Νορβηγία και η Ελβετία. Από το 2012, τα μέλη αξιολογούνται με βάση καθορισμένα κριτήρια, μέσω της Επιτροπής Σχέσεων Μελών και Παρακολούθησης (MRMC), προωθώντας την ανταλλαγή καλών πρακτικών και την διαρκή συμμόρφωση στα κριτήρια ιδιότητας μέλους.

Τα εταιρικά όργανα διοίκησης της CEN περιλαμβάνουν τη Γενική Συνέλευση (AG), το Συμβούλιο (Board) και την Προεδρική Επιτροπή. Αυτά τα όργανα καθορίζουν την πολιτική της CEN,

συντονίζουν τις ενέργειες και εξασφαλίζουν την επίτευξη των εταιρικών στόχων μέσω συνεργασιών σε εθνικό, ευρωπαϊκό και διεθνές επίπεδο.

Η CENELEC είναι η Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Ηλεκτροτεχνική Τυποποίηση, μια ένωση που συγκεντρώνει τις Εθνικές Ηλεκτροτεχνικές Επιτροπές 34 ευρωπαϊκών χωρών. Η κύρια αποστολή της είναι η ανάπτυξη και κατάρτιση εθελοντικών προτύπων στον ηλεκτροτεχνικό τομέα, προκειμένου να διευκολύνουν το εμπόριο μεταξύ των χωρών, να προωθούν την ανάπτυξη νέων αγορών και να συμβάλλουν στην ελάττωση του κόστους συμμόρφωσης. Με τις δραστηριότητες της, η CENELEC υποστηρίζει την ενίσχυση μιας Ενιαίας Ευρωπαϊκής Αγοράς. Η CENELEC δραστηριοποιείται σε ένα μεγάλο και ποικιλόμορφο σύνολο πεδίων τυποποίησης, που περιλαμβάνει την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα, συσσωρευτές και μπαταρίες, μονωμένα σύρματα και καλώδια, ηλεκτρικό εξοπλισμό, ηλεκτρονικές και ηλεκτρομηχανολογικές προμήθειες, καθώς και έξυπνα δίκτυα, ηλιακά/φωτοβολταϊκά συστήματα και ηλεκτρική ενέργεια. Ως αποτέλεσμα, η CENELEC έκλεισε το έτος 2024 με 7.665 ενεργά πρότυπα και τη δημοσίευση 407 νέων προτύπων [20]. Η πλειοψηφία των προτύπων της CENELEC είναι εναρμονισμένα με τα διεθνή πρότυπα που αναπτύχθηκαν από την IEC, μέσω της Συμφωνίας της Φρανκφούρτης και της απευθείας συμμετοχής των μελών της CENELEC στις εργασίες της IEC. Επιπλέον, η CENELEC προσαρμόζει ορισμένα πρότυπα της IEC για την ευρωπαϊκή αγορά, ενισχύοντας τις εγγυήσεις για την υγεία και την ασφάλεια. Με τη σύναψη συμφωνιών με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, η CENELEC αναπτύσσει εναρμονισμένα πρότυπα που πληρούν απόλυτα τις απαιτήσεις των Ευρωπαϊκών Οδηγιών, προσφέροντας τεκμήριο συμμόρφωσης με το ευρωπαϊκό νομικό πλαίσιο και διευκολύνοντας τους κατασκευαστές να συμμορφωθούν με την ισχύουσα νομοθεσία. Η Γενική Συνέλευση της CENELEC (AG) αποτελεί το ανώτατο διοικητικό όργανο της CENELEC και προεδρεύεται από τον Πρόεδρο. Απαρτίζεται από τις αντιπροσωπείες των Εθνικών Ηλεκτροτεχνικών Επιτροπών (NCs) κάθε χώρας μέλους. Το Διοικητικό Συμβούλιο της CENELEC (CENELEC/Board) διαχειρίζεται τις δραστηριότητες του Συνδέσμου και καταρτίζει τις ημερήσιες διατάξεις των συνεδριάσεων της Γενικής Συνέλευσης, ενώ η Προεδρική Επιτροπή (PC), κοινό εταιρικό όργανο της CEN και της CENELEC, διαχειρίζεται δραστηριότητες κοινού ενδιαφέροντος και για τις δύο Ενώσεις. Επίσης, το έργο της υποστηρίζεται από φορείς όπως το Τεχνικό Συμβούλιο και το Συμβούλιο Προσφυγών.

Το δίκτυο CEN και CENELEC αποτελείται από ένα ευρύ φάσμα εμπειρογνομόνων που προέρχονται από διαφορετικά επιστημονικά και τεχνολογικά πεδία, ενώ περιλαμβάνει συμμετοχές από τη βιομηχανία, τις δημόσιες διοικήσεις, τις κοινωνικές οργανώσεις και άλλους ενδιαφερόμενους. Αυτή η πολυμορφία διασφαλίζει την αντιπροσώπευση όλων των κρίσιμων τομέων στις διαδικασίες τυποποίησης, προσφέροντας ένα συντονισμένο πλαίσιο ανάπτυξης και εφαρμογής προτύπων.

Οι ενδιαφερόμενοι που συμμετέχουν στο δίκτυο περιλαμβάνουν επιχειρήσεις, ενώσεις του εμπορίου και της βιομηχανίας, παρόχους υπηρεσιών, περιβαλλοντικές και κοινωνικές οργανώσεις, ρυθμιστικές αρχές και δημόσιες αρχές. Όλα τα μέλη εντάσσονται σε ένα σύστημα που εκπροσωπείται μέσω των κοινοτήτων του CEN και του CENELEC, οι οποίες κατηγοριοποιούνται ως εξής [21]:

- 34 εθνικά κράτη μέλη: Εθνικοί Φορείς Τυποποίησης (CEN) και Επιτροπές Ηλεκτροτεχνικής Τυποποίησης (CENELEC), που αποτελούν τους τελικούς φορείς λήψης αποφάσεων εντός των δύο οργανισμών.

- Ευρωπαϊκές οργανώσεις, ενώσεις και ομοσπονδίες: Αυτές αντιπροσωπεύουν τους βασικούς ενδιαφερόμενους και παρέχουν εξειδικευμένη τεχνογνωσία στους αντίστοιχους τομείς.

- Κυβερνητικοί φορείς και αρχές: Περιλαμβάνουν την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (ΕΚ) και την Ευρωπαϊκή Ζώνη Ελεύθερων Συναλλαγών (ΕΖΕΣ), που διαδραματίζουν ουσιαστικό ρόλο στον συντονισμό της τυποποίησης.

- Συνεργάτες: Εθνικοί φορείς/επιτροπές τυποποίησης από χώρες συνεργαζόμενες με την Ευρωπαϊκή Ένωση.

- Μνημόνια Συνεννόησης (MoU): Εξυπηρετούν την προώθηση της συνεργασίας με περιφέρειες και χώρες εκτός της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της ΕΖΕΣ.

- Διεθνής συνεργασία: Αναφέρεται στη στενή συνεργασία του CEN με το ISO και του CENELEC με το IEC, εξασφαλίζοντας τη διεθνή εναρμόνιση των προτύπων.

Στο πλαίσιο αυτό, οι κοινοτικές δομές του CEN και του CENELEC λειτουργούν όχι μόνο ως χώροι ανάπτυξης προτύπων, αλλά και ως πλατφόρμες ανταλλαγής καλών πρακτικών, τεχνογνωσίας και εμπειριών. Αυτή η συλλογική προσέγγιση ενισχύει την ανταγωνιστικότητα και την καινοτομία στην Ευρωπαϊκή Αγορά, ενώ παράλληλα προάγει τη συμμόρφωση με τα διεθνώς αναγνωρισμένα πρότυπα, διευκολύνοντας την πρόσβαση στις αγορές παγκοσμίως.

3.3 ETSI

Το ETSI, ιδρυθέν το 1988 ως αποτέλεσμα πρωτοβουλιών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, είναι ένας Ευρωπαϊκός Οργανισμός Τυποποίησης που δραστηριοποιείται στην ανάπτυξη προτύπων για τις τηλεπικοινωνίες, τις ραδιοηλεκτρικές εκπομπές και τις ηλεκτρονικές επικοινωνίες. Παρότι ξεκίνησε με στόχο να εξυπηρετεί τις ευρωπαϊκές ανάγκες, τα πρότυπά του έχουν πλέον παγκόσμια απήχηση, εξασφαλίζοντας ανταγωνιστικότητα στα μέλη του σε διεθνές επίπεδο.

Το ETSI συνεργάζεται με διεθνείς οργανισμούς όπως το 3GPP για την ανάπτυξη κινητών επικοινωνιών 4ης και 5ης γενιάς και το oneM2M για επικοινωνίες μεταξύ μηχανών. Η χρηματοδότησή του προέρχεται κυρίως από ετήσιες εισφορές των μελών του, αιτήματα τυποποίησης από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και την Ευρωπαϊκή Ζώνη Ελεύθερων Συναλλαγών, εμπορικές δραστηριότητες όπως η πώληση προτύπων και συνεισφορές από συνεργαζόμενους οργανισμούς.

Οι δαπάνες του οργανισμού αφορούν στην υποστήριξη τεχνικών επιτροπών, τη διεξαγωγή δοκιμών διαλειτουργικότητας και την υποστήριξη ερευνητικών προγραμμάτων. Το ETSI προσφέρει ένα συνεργατικό και χωρίς αποκλεισμούς περιβάλλον για την έγκαιρη ανάπτυξη, επικύρωση και δοκιμή προτύπων Τεχνολογιών Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ). Τα παραγόμενα πρότυπα είναι παγκόσμιας ισχύος και καλύπτουν όλους τους τομείς της βιομηχανίας και της κοινωνίας. Μέσω των εναρμονισμένων προτύπων του, το ETSI υποστηρίζει την ευρωπαϊκή νομοθεσία, προσφέροντας τεχνικές πληροφορίες για συμμόρφωση με τις Ευρωπαϊκές Οδηγίες και Κανονισμούς, ενώ προάγει την πρόσβαση στην ενιαία ευρωπαϊκή αγορά. Στις δημοσιεύσεις του ETSI περιλαμβάνονται ετήσια περισσότερα από 2.500 πρότυπα και άλλα παραδοτέα, διασφαλίζοντας την πρωτοπορία στις εξελίξεις των ΤΠΕ. Τα μέλη του ETSI έχουν πρόσβαση σε ενημερωμένα πρότυπα, συμμετέχουν ενεργά στη διαμόρφωσή τους και απολαμβάνουν ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα και ευκαιρίες δικτύωσης σε διεθνές επίπεδο.[23]

- Κανονιστικό Πλαίσιο και Όρια Ασφαλείας για την Έκθεση σε Ακτινοβολία

Η διαχείριση της ασφαλούς έκθεσης σε ακτινοβολία αποτελεί ένα κρίσιμο πεδίο ρύθμισης, το οποίο απαιτεί παρακολούθηση, έλεγχο και πιστή εφαρμογή των ισχυουσών Οδηγιών και Κανονισμών. Ο βασικός στόχος αυτών των μέτρων είναι η ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων στις ανθρώπινες ζωές και στο περιβάλλον, διατηρώντας την έκθεση σε όρια που δεν προκαλούν αρνητικές συνέπειες στους οργανισμούς. Πολλοί Ευρωπαϊκοί και Εθνικοί νόμοι, καθώς και διεθνή πρότυπα, διαμορφώνουν το κανονιστικό πλαίσιο για την ακτινοπροστασία.

- Ιονίζουσα Ακτινοβολία

Στην Ελλάδα, η Εθνική νομοθεσία έχει ενσωματώσει πλήρως όλες τις σχετικές Ευρωπαϊκές Οδηγίες και Κανονισμούς για τις ιονίζουσες ακτινοβολίες, συμπεριλαμβανομένων των Βασικών Προτύπων Ασφάλειας που περιλαμβάνονται στην Οδηγία 2013/59/EURATOM. Η Οδηγία αυτή βασίζεται σε πολυάριθμες επιστημονικές έρευνες και διεθνείς αξιολογήσεις. Το κανονιστικό πλαίσιο περιλαμβάνει: [25]

- Π.Δ. 101/2018 (ΦΕΚ 194/Α` 20.11.2018): Θέσπιση Κανονισμών Ακτινοπροστασίας βάσει της Οδηγίας 2013/59/EURATOM.

- Υ.Α. 45872/2019 (ΦΕΚ 1103/Β` 3.4.2019): Διαδικασίες κανονιστικού ελέγχου για πρακτικές ιονίζουσών ακτινοβολιών.

- Υ.Α. 43374/2020 (ΦΕΚ 1881/Β` 18.5.2020): Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τους κινδύνους από την έκθεση σε ραδόνιο.

Η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ) αποτελεί τον βασικό φορέα ελέγχου, ρύθμισης και εποπτείας για την ακτινοπροστασία και τη ραδιολογική και πυρηνική ασφάλεια στην Ελλάδα. [24]

- Μη Ιονίζουσα Ακτινοβολία

Για τις μη ιονίζουσες ακτινοβολίες, η ελληνική νομοθεσία εναρμονίζεται με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2013/35/ΕΕ, που αφορά την έκθεση των εργαζομένων σε φυσικούς παράγοντες, όπως τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία (Π.Δ. 120/2016). Ειδικότερα, ο Ν.4070/2012 καθορίζει αυστηρότερα όρια για την ακτινοβολία των κεραιών κινητής τηλεφωνίας, με μειώσεις κατά 60%-70% από τα όρια της Διεθνούς Επιτροπής Προστασίας από τις Μη Ιονίζουσες Ακτινοβολίες (ICNIRP) κοντά σε ευαίσθητες περιοχές όπως σχολεία και νοσοκομεία.

Τα όρια ασφαλείας για την έκθεση σε ακτινοβολία υπολογίζονται με βάση μετρήσιμα μεγέθη, όπως ο ρυθμός ειδικής απορρόφησης (SAR) και τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία (EMF):

- SAR (Specific Absorption Rate): Μετρά την ενέργεια που απορροφάται από τον ανθρώπινο ιστό, σε μονάδες W/kg. Προκύπτει ως εκτίμηση του ρυθμού απορρόφησης που οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος κατά 1°C. Μέσος ρυθμός SAR ολόκληρου σώματος:

- Ευρωπαϊκό όριο: 0,08 W/kg

- Ελληνικό όριο (70%): 0,056 W/kg

Τοπικός ρυθμός SAR στο κεφάλι και τον κορμό:

- Ευρωπαϊκό όριο: 2,0 W/kg

- Ελληνικό όριο (70%): 1,4 W/kg

Τα όρια εκτίθενται βάσει διαχωρισμού του πληθυσμού σε δύο κατηγορίες:

- Γενικός πληθυσμός: Για άτομα χωρίς εξειδικευμένη εκπαίδευση που εκτίθενται περιστασιακά σε ακτινοβολία.

- Εργαζόμενοι: Για άτομα που εκτίθενται επαγγελματικά σε ακτινοβολία και έχουν κατάλληλη εκπαίδευση.

Οι διεθνείς επιστημονικοί οργανισμοί, όπως η ICNIRP και ο WHO, εκδίδουν κατευθυντήριες γραμμές για την ασφαλή διαχείριση της έκθεσης, οι οποίες ενσωματώνονται στη νομοθεσία. Στην Ελλάδα, οι κατευθυντήριες γραμμές της ICNIRP συστήνονται για την προστασία του κοινού από την έκθεση σε μη ιονίζουσες ακτινοβολίες.[22]

Η ασφαλής διαχείριση της ακτινοβολίας βασίζεται σε ένα συνδυασμό εθνικών και διεθνών κανόνων. Τα όρια ασφαλείας καθορίζονται με επιστημονικές μεθόδους που λαμβάνουν υπόψη τη φυσιολογία του ανθρώπινου σώματος και τη συνεχιζόμενη ερευνητική πρόοδο, ενώ η εφαρμογή τους διασφαλίζεται από αρμόδιους φορείς, όπως η ΕΕΑΕ. [24]

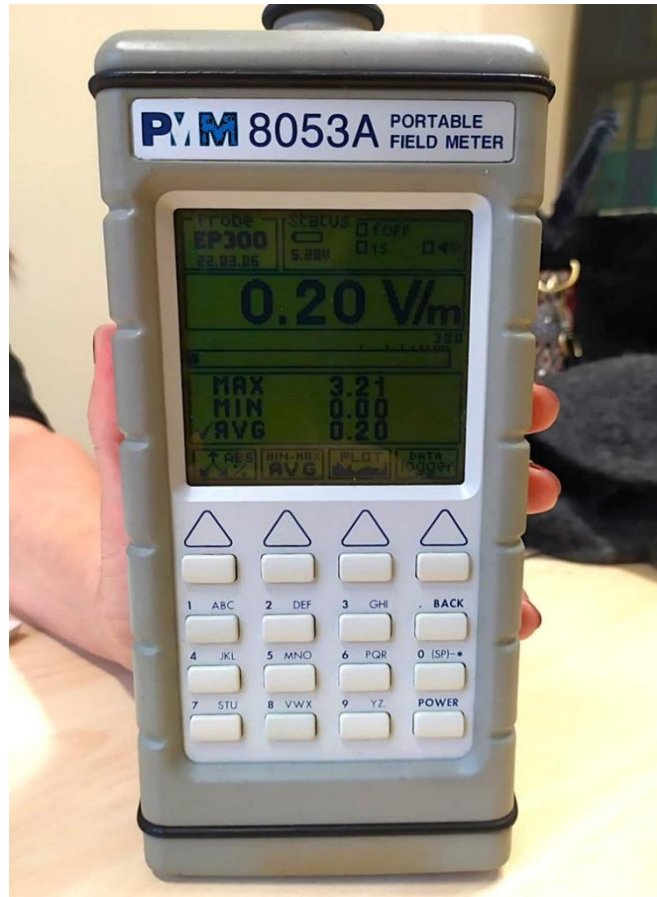
Κεφάλαιο 4ο: Πρωτόκολλο Μέτρησης

4.1 Πεδιόμετρο μέτρησης

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται το πρωτόκολλο και η διαδικασία μέτρησης που εφαρμόστηκαν με τη χρήση του πεδιομέτρου PMM 8053A του εργαστηρίου Ασύρματων Επικοινωνιών του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, σε συνδυασμό με τον αισθητήρα EP-300. Μέσω αυτού του οργάνου λήφθηκαν οι μετρήσεις της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, πιο συγκεκριμένα η μέγιστη(max), η ελάχιστη(min) και η μέση τιμή(avg). Το πεδιόμετρο λειτουργεί συνεργατικά με τον αισθητήρα και έχει τη δυνατότητα να λαμβάνει μετρήσεις μεταξύ των συχνοτήτων 5Hz και 40 GHz, ανάλογα με τον αισθητήρα που συνδέεται σε αυτό. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πεδιομέτρου PMM 8053A καταγράφονται στον Πίνακα 4.1. [5]

Πίνακας 4.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά πεδιομέτρου PMM 8053A

Περιοχή συχνοτήτων	5Hz - 40GHz
Μονάδες	V/m, kV/m, $\mu W/cm^2$, mW/cm ²
Εσωτερική μνήμη	Μέχρι 32.700 μετρήσεις
Λειτουργίες	Μέτρηση μέγιστης, ελάχιστης και μέσης τιμής
Εσωτερική μπαταρία	Επαναφορτιζόμενη NiMH (5 × 1.2 V)
Αυτονομία	2 ώρες
Εξωτερική παροχή ισχύος	DC, 10 – 15V, 500mA
Βαθμονόμηση	Μέσω εσωτερικής μνήμης E ² PROM του αισθητήρα
Μέγεθος	108 × 240 × 50 mm
Βάρος	1.07Kg



Εικόνα 4.1: Πεδιόμετρο PMM 8053A

4.2 Αισθητήρας

Έγινε χρήση του αισθητήρα EP-300 ο οποίος είναι κατάλληλος για μετρήσεις της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου σε συχνότητες από 0.1 MHz έως 3GHz. Η βαθμονόμηση πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια της εσωτερικής μνήμης PROM του αισθητήρα. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα EP-300 καταγράφονται στον Πίνακα 4.2. [5]

Πίνακας 4.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα EP-300

Περιοχή συχνοτήτων	0.1MHz - 3GHz
Περιοχή μέτρησης	0.1 V/m – 300V/m
Ευαισθησία	0.15 V/m
Εσωτερική μπαταρία	Επαναφορτιζόμενη NiMH (5 × 1.2 V)
Αυτονομία	2 ώρες
Εξωτερική παροχή ισχύος	DC, 10 – 15V, 500mA
Βαθμονόμηση	Μέσω εσωτερικής μνήμης E ² PROM
Μέγεθος	317 × 58 mm
Βάρος	100g



Εικόνα 4.2: Αισθητήρας EP-300

4.3 Φύλλο Μέτρησης

Στο παρόν υποκεφάλαιο, οι μετρήσεις και τα αποτελέσματα καταγράφονται συστηματικά μέσω τυποποιημένων πινάκων, οι οποίοι διασφαλίζουν τη σαφήνεια και την οργάνωση των δεδομένων. Κάθε πίνακας περιλαμβάνει βασικές πληροφορίες που σχετίζονται με τη διαδικασία των μετρήσεων, όπως η ταυτότητα της μέτρησης, η θέση διεξαγωγής και οι παρατηρούμενες τιμές.

Πίνακας 4.3 Ταυτότητα Μετρήσεων

<i>Ταυτότητα Μετρήσεων</i>	
α/α μέτρησης	
Ημερομηνία	
Ώρα έναρξης	
Ώρα Λήξης	

Αρχικά, ο **Πίνακας 4.3 - Ταυτότητα Μετρήσεων** καταγράφει συνοπτικά τις βασικές πληροφορίες που αφορούν κάθε μέτρηση. Περιλαμβάνει τον αριθμό αναφοράς της μέτρησης (α/α μέτρησης), την ημερομηνία διεξαγωγής, καθώς και τις ώρες έναρξης και λήξης, εξασφαλίζοντας την οργάνωση των δεδομένων.

- εγχειρίδιο χρήσης πεδιομέτρου
- κινητό τηλέφωνο για χρήση των χαρτών Google
- φύλλα μέτρησης, χάρτης με τις θέσεις των κεραιών, στυλό, μολύβι, σβήστρα

Διεξαγωγή της μέτρησης

- Μεταβαίνουμε στην περιοχή, επιλέγουμε το ακριβές σημείο της μέτρησης και τοποθετούμε το τρίποδο σε σταθερό έδαφος προσπαθώντας να βρίσκεται μακριά από μεταλλικές κατασκευές και αντικείμενα διότι αυτά επηρεάζουν την μέτρηση. Ωστόσο, αυτό δεν είναι πάντα εφικτό στις μετρήσεις εντός της πόλης.
- Ενσωματώνουμε τον αισθητήρα EP-300 στο πεδιόμετρο PMM8053A και στη συνέχεια βιδώνουμε τη συσκευή στο τρίποδο.
- Εντοπίζουμε πιθανές κεραιές εκπομπής στη γύρω περιοχή (με τη βοήθεια και του χάρτη) και παίρνουμε φωτογραφίες όπου είναι απαραίτητο.
- Από το πληκτρολόγιο επιλέγουμε το πλήκτρο “power” έτσι ώστε να ενεργοποιηθεί το πεδιόμετρο. Με το πλήκτρο “mode” (δεύτερο πλήκτρο της πρώτης σειράς) επιλέγουμε “AVG” ώστε να εμφανίζονται στην οθόνη η μέγιστη τιμή (max), η ελάχιστη τιμή (min) και η μέση τιμή (avg) της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου.
- Από πριν έχει γίνει η ρύθμιση ώστε η μέση τιμή να υπολογίζεται στο χρονικό διάστημα των 6 λεπτών. Ωστόσο, λόγω της πολύ περιορισμένης αυτονομίας του οργάνου, όταν οι τιμές της ηλεκτρικής πεδιακής έντασης είναι πολύ μικρές ή/και όταν η στιγμιαία τιμή δεν έχει μεγάλες διακυμάνσεις, επιλέγεται το χρονικό διάστημα των 3 λεπτών.
- Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σε 3 διαφορετικά ύψη, δηλ. **1.2m**, **1.5m** και **1.7m**, επεκτείνοντας ή συμπύσσοντας τα πόδια του τριπόδου ανάλογα.
- Το τελικό αποτέλεσμα της τιμής της ηλεκτρικής πεδιακής έντασης για κάθε σημείο μέτρησης θα προκύψει ως μέσος όρος των τιμών στα 3 παραπάνω ύψη. Όταν όμως παρατηρούμε μικρές διακυμάνσεις/διαφορές σε 2 ύψη ή/και πολύ μικρές τιμές της έντασης η μέτρηση πραγματοποιείται σε δύο μόνο ύψη (ή και μόνο σε ένα ύψος, κρίνοντας κατά περίπτωση), δεδομένης της πολύ περιορισμένης αυτονομίας του οργάνου.
- Αφού έχουμε τοποθετήσει σωστά το τρίποδο και το πεδιόμετρο, στεκόμαστε σε απόσταση μερικών μέτρων από το αυτό ώστε να μην επηρεάζεται η μέτρηση από το ανθρώπινο σώμα.
- Μετά την πάροδο των 6 (ή 3) λεπτών, εμφανίζεται το σύμβολο “√” μπροστά από την τιμή AVG στην οθόνη του πεδιομέτρου. Σημειώνουμε στο φύλλο μετρήσεων τις τιμές που βρήκαμε.
- Με τη βοήθεια του GPS σημειώνουμε το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της περιοχής μέτρησης. Επίσης, καταγράφουμε όλα τα στοιχεία που αναφέρονται στο φύλλο μετρήσεων.
- Επιλέγουμε το επόμενο σημείο μέτρησης και επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία.

Ολοκλήρωση της μέτρησης

- Όταν εξαντληθεί η μπαταρία του πεδιομέτρου και έχουμε μετρήσει σε όσα σημεία προλάβουμε από τα προγραμματισμένα, τοποθετούμε όλα τα αντικείμενα στις θήκες/τσάντες τους και αποχωρούμε.
- Καταγράφουμε σε αρχείο Excel (το οποίο έχει ήδη δημιουργηθεί γι’ αυτό το σκοπό) όλα τα δεδομένα/αποτελέσματα των μετρήσεων, καθώς τις σχετικές παρατηρήσεις

4.5 Κριτήρια επιλογής μέτρησης

Οι περιοχές που επιλέχθηκαν για τη μέτρηση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου σε RF συχνότητες, που βρίσκονται στην Ανατολική Θεσσαλονίκη, είναι η Καλαμαριά και η Χαριλάου. Κάποιες αρχικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν πειραματικά στην περιοχή της Σίνδου και πιο συγκεκριμένα στις εξωτερικές εγκαταστάσεις του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, στις οποίες δε θα γίνει αναλυτική αναφορά λόγω της πειραματικής τους φύσης. Η επιλογή των εν λόγω περιοχών βασίστηκε σε κριτήρια προσβασιμότητας και στην υψηλή πυκνότητα των κεραιών, προκειμένου να εξασφαλιστεί η βέλτιστη κάλυψη των περιοχών και η αποτελεσματικότητα των μετρήσεων. Μέσω της ιστοσελίδας της ΕΕΤΤ (Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών & Ταχυδρομείων) εντοπίστηκαν τα ακριβή σημεία θέσης των κεραιών. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο χρονικό διάστημα μεταξύ των μηνών του Αυγούστου και του Δεκεμβρίου του 2023.

Κεφάλαιο 5ο : Αποτελέσματα Μετρήσεων

5.1 Περιοχές Καλαμαριάς και Χαριλάου

Η τρέχουσα ενότητα παρουσιάζει τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε διάφορες οδούς των περιοχών της Καλαμαριάς και της Χαριλάου, με στόχο την αξιολόγηση της λειτουργίας των κεραιών. Οι επιλεγμένες τοποθεσίες χαρακτηρίζονται από ποικίλη δόμηση, εμπορική δραστηριότητα, και κυκλοφορία οχημάτων, ενώ σε πολλές από αυτές παρατηρείται η παρουσία πολλαπλών κεραιών διαφορετικών παρόχων τηλεπικοινωνιών. Σκοπός των μετρήσεων ήταν η σύγκριση των αποτελεσμάτων με τις επιτρεπτές τιμές που καθορίζονται από τα διεθνή πρότυπα, ώστε να εξακριβωθεί αν υπάρχει ενδεχόμενη υπέρβαση των επιτρεπόμενων ορίων.

Αρχικά, οι μετρήσεις 3.1 με 3.6 έγιναν επί της οδού Χηλής. Πιο συγκεκριμένα η μέτρηση 3.4 πραγματοποιήθηκε έξω από το γήπεδο του Απόλλωνα Καλαμαριάς, όπου υπάρχουν τρεις κεραιές διαφορετικών εταιρειών και συγκεκριμένα της NOVA, της Vodafone και του ΟΤΕ ενώ οι μετρήσεις 3.5-3.6 διεξήχθησαν έξω από το κτίριο του 1ο ΓΕΛ Καλαμαριάς. Παρατηρήθηκε πυκνή δόμηση στην περιοχή. Στη συνέχεια οι μετρήσεις 4.1 έως 4.5 πραγματοποιήθηκαν επί της οδού Σοφούλη. Πρόκειται για μια οδό δίπλα στη θάλασσα, στην οποία βρίσκεται και ο Ναυτικός Όμιλος Καλαμαριάς, όπου σε εκείνο το σημείο πραγματοποιήθηκε η μέτρηση 4.4. Επιπλέον, οι μετρήσεις 5.1 με 5.7 υλοποιήθηκαν επί της οδού Ν. Πλαστήρα και των δρόμων Ιερέως Καζίκια με Πατριάρχου Ιωακείμ Γ' και Δρακοπούλου με Πατριάρχου Ιωακείμ Γ'. Σε αυτές τις οδούς εντοπίστηκαν πολλαπλές κεραιές διάφορων εταιρειών καθώς και πολυώροφες πολυκατοικίες στις οποίες διαμένουν αρκετοί κάτοικοι της Καλαμαριάς. Μάλιστα και αυτή η οδός είναι παραθαλάσσια με πολλά δένδρα, τα οποία προσφέρουν πλούσια βλάστηση στην περιοχή. Ακόμη, οι μετρήσεις 6.1 με 6.4 και οι μετρήσεις 7.1 με 7.6 έγιναν επί της οδού Πόντου. Η οδός αυτή διαθέτει δύο κεραιές κινητής τηλεφωνίας και συγκεκριμένα η μία κεραία βρίσκεται Πόντου 68 και ανήκει στο φορέα κινητής τηλεφωνίας της Vodafone και η άλλη κεραία βρίσκεται Πόντου 88 και ανήκει στον ΟΤΕ. Είναι μια κεντρική οδός στην περιοχή της Καλαμαριάς και έχει υψηλή κίνηση οχημάτων. Οι μετρήσεις 12.1 έως 13.4 πραγματοποιήθηκαν στην οδό Μεταμορφώσεως, στην οποία βρίσκεται η Ιερά Μητρόπολη Καλαμαριάς. Στη συγκεκριμένη Μητρόπολη υλοποιήθηκε και η μέτρηση 13.3, όπου έγινε στον εξωτερικό χώρο του ναού. Επίσης, οι μετρήσεις 8.1 με 8.4 και οι μετρήσεις 9.1 με 9.4 διεξήχθησαν στη Λεωφόρο Κωνσταντίνου Καραμανλή. Στη συγκεκριμένη λεωφόρο διέρχονται αρκετά οχήματα σε καθημερινή βάση. Επίσης, βρίσκονται αρκετές πολυκατοικίες με πολλούς ορόφους, καταστήματα αλλά και τράπεζες όπως είναι η Eurobank αλλά και η Εθνική Τράπεζα. Τέλος, οι μετρήσεις 8.5 και 9.4 έως 10.3 έγιναν επί της οδού 25ης Μαρτίου. Πρόκειται για μια πολυσύχναστη περιοχή με αρκετά καταστήματα και σούπερ μάρκετ. Η οδός αυτή διαθέτει μεγάλη εμπορική δραστηριότητα και έχει αυξημένη κυκλοφορία αυτοκινήτων αλλά και πεζών.

Στο σημείο αυτό, πρέπει να αναφερθεί, ότι το αρχικό πλάνο αναφορικά με τη διαδικασία μετρήσεων ήταν να ληφθούν όσο το δυνατόν περισσότερες μετρήσεις, προκειμένου να είναι όσο το δυνατόν τόσο πιο αξιόπιστα και ακριβή τα στατιστικά αποτελέσματα. Δηλαδή, πρακτικά, με μεγαλύτερο δείγμα μετρήσεων, η μέση τιμή (Mean) τείνει να προσεγγίζει καλύτερα την "πραγματική" μέση τιμή και η διακύμανση (VAR) και η τυπική απόκλιση (SD) γίνονται πιο αντιπροσωπευτικές της κατανομής δεδομένων. Τέλος, είναι σαφές ότι η πιθανότητα στατιστικών λαθών μειώνεται, καθώς οι τυχαίες αποκλίσεις εξισορροπούνται.

Ωστόσο, ανέκυψαν δυσκολίες κατά τη πειραματική διαδικασία που πρέπει να αναφερθούν. Συγκεκριμένα, το πεδιόμετρο που χρησιμοποιήθηκε είχε πολύ μικρή αυτονομία λόγω παλαιότητας. Η

διάρκεια της μπαταρίας που έφερε ήταν ιδιαίτερα μικρή. Το γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα την απαιτούμενη συχνή φόρτισή του κάθε φορά που εξαντλούνταν η μπαταρία. Συνεπώς, έπρεπε να ξεκινούμε κάθε φορά νέους κύκλους μετρήσεων μετά την αποφόρτιση και εκ νέου φόρτιση του πεδίομετρου. Π.χ. το πεδίομετρο έσβησε μετά τη μέτρηση με a/a : 3.6. Γι' αυτό το λόγο - όπως φαίνεται στο Excel - το επόμενο set μετρήσεων ξεκινά από το βήμα 4.1 και φθάνει έως το 4.5, όπου πάλι έσβησε το πεδίομετρο κοκ. Συνολικά έγιναν δέκα (10) set μετρήσεων που παρατίθενται στο Παράρτημα.

Ο λόγος έκθεσης λ_f^i ορίζεται ως εξής:

$$\lambda_f^i = \left(\frac{E_f^j}{E_{lim,f}^j} \right)^2 \quad (5.1)$$

Όπου E_f^j είναι η τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που μετρήθηκε σε κάποιο σημείο j και $E_{lim,f}^j$ είναι το αντίστοιχο επίπεδο αναφοράς της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που ορίζεται από τη Διεθνή Επιτροπή Προστασίας από Μη Ιονίζουσες Ακτινοβολίες (ICNIRP). [56] Επίσης, ο δείκτης i αντιπροσωπεύει το αντίστοιχο ύψος μέτρησης (1.1m, 1.5m, 1.7m), το f τη ζώνη των συχνοτήτων και ο δείκτης j δηλώνει συγκεκριμένα σημεία μέτρησης (από 1 έως 396 διαφορετικά σημεία). Στη συνέχεια υπολογίζεται η μέση τιμή του $E_{lim,f}^j$ σε κάθε ύψος i για τη δεδομένη ζώνη συχνοτήτων f , ώστε να προκύψει μια συγκεντρωτική εικόνα της ηλεκτρικής έντασης του πεδίου ανά ύψος.

Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία [57] τα καθιερωμένα επίπεδα αναφοράς για τη γενική έκθεση του κοινού σε περιοχές σχολείων και νηπιαγωγείων (δηλαδή 300 μέτρα από την περίμετρό τους) στην Ελλάδα ορίζονται στο 60% των τιμών επιπέδου αναφοράς του Συμβουλίου της ΕΕ του 1999. [34] Έτσι, το $E_{lim,f}^j$ στην εξίσωση (5.1), λαμβάνεται στους υπολογισμούς, σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία, βάσει του Πίνακα 5.1.

Ο συνολικός λόγος έκθεσης Λ_j , για το σημείο j , δίνεται από τη σχέση [57]:

$$\Lambda_j = \sum_j \lambda_f^j \quad (5.2)$$

Πίνακας 5.1: Όριο έκθεσης $E_{lim,f}^j$ (V/m) του κοινού σε περιοχές σχολείων, σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία [57]

Εύρος συχνότητας	Όριο έκθεσης $E_{lim,f}^j$ (V/m)
1 – 3 KHz	150/f
3 KHz – 1,43 MHz	52,2
1,43 MHz – 10 MHz	67,3/f
10 MHz – 400 MHz	21,7
400 MHz – 2 GHz	1.065 $f^{1/2}$
2GHz – 300 GHz	47,2

Για το εύρος συχνοτήτων που μελετώνται στην παρούσα εργασία, δηλ. 400 – 3000 MHz, επιλέγεται η παρακάτω σχέση για το όριο έκθεσης [57]:

$$E_{lim,f}^j = 1.065 f^{1/2}$$

Επομένως για $f = 400 \text{ MHz}$, προκύπτει ότι:

$$E_{lim,f}^j = 1.065f^{1/2} = 21,3\text{V/m} \quad (5.3)$$

Τα αποτελέσματα EMF των μετρήσεων λαμβάνονται σε εύρος συχνοτήτων 400 MHz – 3000 MHz. Ο συνολικός λόγος έκθεσης λ_f^i υπολογίστηκε συναρτήσει των τιμών του πεδιομέτρου $avg(\text{V/m})$ και σύμφωνα με τον τύπο:

$$\Lambda_j = \sum_j \lambda_f^j = (avg(\frac{V}{m})/21,3)^2 \quad (5.4)$$

Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν στατιστικά και αξιολογήθηκαν εξετάζοντας τη συμμόρφωση με τα καθιερωμένα επίπεδα αναφοράς της έκθεσης σε ραδιοσυχνότητες βάσει της κείμενης ελληνικής νομοθεσίας.

5.2 Ανάλυση των υπολογισμών των στατιστικών τιμών

Παρακάτω παρατίθεται η θεωρητική περιγραφή και ο τρόπος υπολογισμού της μέσης τιμής (Mean) της τυπικής απόκλισης (SD) και της διαμέσου (Median) βάσει των τιμών των δύο (2) Πινάκων του Παραρτήματος: [3]

1. Υπολογισμός Μέσης τιμής (Mean): E.Field (V/m) & Exposure Ratio (λ_f^i)

Με τον όρο Μέση τιμή (Mean) εννοούμε το άθροισμα όλων των τιμών διαιρεμένο με το πλήθος των τιμών με την προϋπόθεση ότι οι τιμές έχουν ίδια βαρύτητα. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι σε αρκετές περιπτώσεις, χρησιμοποιείται η σταθμισμένη μέση τιμή, όπου η κάθε τιμή πολλαπλασιάζεται με έναν αντίστοιχο συντελεστή βαρύτητας πριν από τη διαίρεση με το συνολικό άθροισμα των συντελεστών. Για τον υπολογισμό της μέσης τιμής του ηλεκτρικού πεδίου **E. Field** ($\frac{V}{m}$) σε συνδυασμό με τον δείκτη έκθεσης (Exposure Ratio), ακολουθείται η εξής προσέγγιση: Εξετάζεται το σύνολο των μετρήσεων και υπολογίζεται η αριθμητική μέση τιμή τους.

Με σκοπό την ακρίβεια των αποτελεσμάτων και την όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστη εκτίμηση του πεδίου και της σχετικής έκθεσης, προκύπτει:

$$Mean \left(E. Field \left(\frac{V}{m} \right) \right) = 1,063 \quad (5.5)$$

Προκύπτει σε συνάρτηση με την έκθεση λ , ότι:

$$Mean (Exposure Ratio(\lambda_f^i)) = 0,009 \quad (5.6)$$

2. Υπολογισμός Τυπικής απόκλισης (SD – Standard Deviation): E.Field (V/m) & Exposure Ratio (λ_f^i)

Με τον όρο τυπική απόκλιση (Standard Deviation) εννοούμε κατά πόσο οι τιμές των μετρήσεων αποκλίνουν από τη μέση τιμή τους. Η διακύμανση (VAR) υπολογίζει τον μέσο όρο των τετραγώνων των αποκλίσεων κάθε τιμής από τη μέση τιμή. Συνιστά ένα στατιστικό μέτρο που μας δείχνει κατά πόσο αποκλίνουν οι τιμές του συνόλου των δεδομένων μας από τη μέση τιμή τους. Στο Excel, χρησιμοποιείται ο τύπος VAR προκειμένου να υπολογιστεί η διακύμανση.

Ο υπολογισμός της Τυπικής απόκλισης (SD) γίνεται ως εξής:

$$SD = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (5.7)$$

Όπου:

- x_i είναι οι επιμέρους τιμές των δεδομένων
- \bar{x} είναι η μέση τιμή των δεδομένων
- N είναι το πλήθος των τιμών

Προκύπτει:

$$SD (E.Field \left(\frac{V}{m}\right)) = 1,680 \quad (5.8)$$

Προκύπτει:

$$SD (Exposure Ratio(\lambda_f^i)) = 0,042 \quad (5.9)$$

3. Υπολογισμός Διαμέσου (Median)

Με τον όρο Διάμεσος (Median) ορίζουμε την τιμή που χωρίζει το δείγμα στα δύο, έτσι ώστε το μισό δείγμα να είναι μικρότερο από τη διάμεσο και το άλλο μισό μεγαλύτερο. Πρόκειται για το στατιστικό μέτρο που συμβάλλει στην κατανόηση της κεντρικής τάσης ενός συνόλου δεδομένων, ειδικά όταν υπάρχουν ακραίες τιμές που επηρεάζουν τη μέση τιμή. Με τον τύπο MEDIAN στο Excel γίνεται ο υπολογισμός της μεσαίας τιμής του συνόλου των τιμών.

Προκύπτει:

$$E.Field (V/m): 0,765 \quad (5.10)$$

Προκύπτει:

$$Exposure Ratio(\lambda_f^i) = 0,00129 \quad (5.11)$$

5.2.1 Περιγραφή και ανάλυση των τιμών outliers

Η/οι τιμή/ές outlier/s αφορούν σε μια ή περισσότερες τιμές που έχουν ληφθεί στο εν λόγω πείραμα και αποκλίνουν σημαντικά (βρίσκονται δηλ. σε ασυνήθιστη απόσταση) με τις υπόλοιπες τιμές του δείγματος μετρήσεων ή του συνόλου των δεδομένων. Με άλλα λόγια, πρόκειται για μια ή περισσότερες "ακραίες τιμές", οι οποίες δύνανται να προκύψουν για διάφορους λόγους, όπως π.χ. εξαιτίας σφαλμάτων μέτρησης, ασυνήθιστων συνθηκών ή και πραγματικών διαφορών ανάμεσα στις μετρήσεις. Πρέπει να τονιστεί ότι εφόσον προκύπτουν τιμές εκτός ορίων (outliers), μπορεί να οδηγήσουν σε λανθασμένα συμπεράσματα στην έρευνα εάν δεν εντοπιστούν και δεν αναλυθούν κατάλληλα. Καθίσταται φανερό, λοιπόν, ότι η σημασία της εύρεσης των outliers και η κατανόηση των πιθανών σφαλμάτων είναι μεγάλη. Γι' αυτό το λόγο πρέπει να αξιολογείται αν τα outliers είναι πραγματικά στοιχεία του πειράματος ή αν προέρχονται από σφάλμα. Η ανίχνευση των outliers μπορεί να γίνει με τη χρήση ποικίλων στατιστικών μεθόδων, όπως π.χ. με το δείκτη εύρους των τεταρτημορίων (IQR) μέσω της εύρεσης της τυπικής απόκλισης ή της διαμέσου (median). Στην παρούσα εργασία η ανίχνευσή τους θα λάβει χώρα με τη χρήση διαγραμμάτων box plot στο Excel που θα επαληθεύονται συνδυαστικά με την μέθοδο IQR. Τα outliers στα Διαγράμματα Box and Whisker είναι τα σημεία, δηλ. οι τιμές που βρίσκονται έξω από τα whiskers (τα λεγόμενα μουστάκια) τους. [59][26][60].

Η χρήση του δείκτη Εύρους των Τεταρτημορίων IQR (Interquartile Range) αφορά έναν στατιστικό δείκτη, ο οποίος χρησιμοποιείται, προκειμένου να μετρήσει πρακτικά τη διασπορά εντός του συνόλου των δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, ο δείκτης IQR ισούται με τη διαφορά μεταξύ του τρίτου και του πρώτου τεταρτημορίου στο σύνολο των δεδομένων, ήτοι ισχύει: $IQR = Q3 - Q1$. Το $Q1$ (1^ο τεταρτημόριο) είναι η μέση τιμή των κατώτερων 25% των δεδομένων. Το $Q3$ (3^ο τεταρτημόριο) είναι η μέση τιμή των ανώτερων 25% των δεδομένων. Αυτό σημαίνει ότι ο δείκτης IQR περιλαμβάνει το 50% των δεδομένων. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμος δείκτης για την ανάλυση της μεταβλητότητας και την αναγνώριση των ακραίων τιμών (outliers). Η χρήση του σε συνδυασμό με τα Διαγράμματα Box and whisker κρίνεται ως ιδανική, ώστε να είμαστε σε θέση να κρίνουμε αν η μέση τιμή (Mean) ή η διάμεσος (Median) είναι ή όχι αξιόπιστη, δεδομένου ότι υπάρχουν ακραίες τιμές (outliers). [59][26] [60]

Σύμφωνα με τα ανωτέρω, έχουμε ως εξής:

- Για το 1ο και 3ο Τεταρτημόριο ($Q1$), χρησιμοποιείται στο Excel ο τύπος QUARTILE
- Υπολογισμός του Εύρους των Τεταρτημορίων (IQR): $IQR = Q3 - Q1$
- Κατώτερο όριο = $Q1 - 1.5 \times IQR$
- Ανώτερο όριο = $Q3 + 1.5 \times IQR$

Αναφορικά με τον εντοπισμό των τιμών outliers, ισχύει ότι όσες τιμές είναι μικρότερες από το κατώτερο όριο ή μεγαλύτερες από το ανώτερο όριο, τότε θεωρούνται outliers. Σύμφωνα με τις μετρήσεις της ακτινοβολίας, εμφανίζονται και στα Διαγράμματα box plot. Συγκεκριμένα, οι περισσότερες τιμές συγκεντρώνονται σε χαμηλά επίπεδα (κάτω από 0,002), όμως υπάρχουν εξαιρέσεις που δείχνουν απότομες αυξήσεις. Η τιμές των outliers που προκύπτουν ξεπερνούν κατά πολύ το τυπικό εύρος των δεδομένων, υποδεικνύοντας εξαιρετικές περιπτώσεις αυξημένης ακτινοβολίας.

Όταν συμπεριλαμβάνονται τα outliers, η μέση τιμή αυξάνεται σημαντικά και η τυπική απόκλιση (SD) αυξάνεται επίσης, δείχνοντας μεγαλύτερη αστάθεια στα δεδομένα και άρα στα διαγράμματα. Οι ακραίες τιμές μπορούν να δώσουν μια παραμορφωμένη εικόνα της συνολικής έκθεσης. Επομένως, χωρίς τα outliers, οι περισσότερες τιμές βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα. Γι' αυτό το λόγο η διάμεσος αποτελεί ένα πιο αξιόπιστο μέτρο κεντρικής τάσης σε αυτή την περίπτωση.

5.2.2 Τρόπος δημιουργίας Πινάκων "box and whisker plots" - Outliers

Για τη δημιουργία Πινάκων στο Excel για τη σχεδίαση box and whisker plots, είτε με outliers (τιμές εκτός ορίων) είτε χωρίς outliers, ακολουθούνται σε γενικές γραμμές τα εξής βήματα [2], [58]:

1. Οργάνωση των δεδομένων: Τα δεδομένα οργανώνονται ανά στήλες ή σειρές.
2. Επιλογή δεδομένων: Επιλογή των δεδομένων για τη δημιουργία του διαγράμματος.
3. Εισαγωγή του διαγράμματος: (α) Καρτέλα Insert (Εισαγωγή), (β) Εισαγωγή Box and Whisker plot.
4. Προσαρμογή των outliers: Στο Excel, οι τιμές εκτός ορίων εμφανίζονται αυτόματα. Εφόσον είναι επιθυμητή η δημιουργία διαγράμματος χωρίς αυτές τις τιμές, υπάρχει η δυνατότητα να φιλτράρονται τα outliers από τα δεδομένα πριν δημιουργηθεί το διάγραμμα. Εναλλακτικά, μπορεί να τροποποιηθούν τα δεδομένα, ώστε να αποκλειστούν οι (πιθανές) ακραίες τιμές.

Αναφορικά με τις μετρήσεις που έλαβαν χώρα, ακολουθούμε την εξής διαδικασία:

(α) Λαμβάνουμε σύμφωνα με τον Πίνακα 1(βλέπε Παράρτημα) τα Διαγράμματα 5.1α και 5.2α, αντίστοιχα, συμπεριλαμβάνοντας την τιμή του $avg(V/m) = 11,66$ (α/α μέτρησης 9.3).

(β) Λαμβάνουμε σύμφωνα με τον Πίνακα 2(βλέπε Παράρτημα) τα Διαγράμματα 5.3α και 5.4α, αντίστοιχα, μη συμπεριλαμβάνοντας την τιμή του $avg(V/m) = 11,66$ (α/α μέτρησης 9.3).

5.2.3 Στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων

Στη στατιστική ανάλυση που ακολουθεί, επιβεβαιώνεται η οπτική αναπαράσταση της κατανομής των δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των τεταρτημορίων, της διάμεσου, του εύρους τιμών και των τιμών outliers. εξετάζοντας τις επιπτώσεις των τιμών outliers στα στατιστικά δεδομένα, δηλ. με ποιο τρόπο επηρεάζουν τον μέσο όρο ή την τυπική απόκλιση κοκ.

Το **Διάγραμμα 5.1a** είναι ένα box and whisker plot που απεικονίζει την κατανομή των τιμών της μεταβλητής avg(V/m) από τον Πίνακα 1. Το διάγραμμα παρουσιάζει συνοπτικά βασικά στατιστικά χαρακτηριστικά των δεδομένων, συμπεριλαμβανομένου του εύρους, των τεταρτημορίων, της διάμεσου και των ακραίων τιμών (outliers). Το διάγραμμα δείχνει ότι η κατανομή των τιμών avg(V/m) έχει μια σημαντική ασυμμετρία, επηρεασμένη έντονα από την παρουσία ακραίων τιμών. Το κουτί του διαγράμματος, που αντιπροσωπεύει το εύρος μεταξύ του πρώτου (Q1) και του τρίτου τεταρτημορίου (Q3), δείχνει ότι το 50% των δεδομένων συγκεντρώνεται μεταξύ 0,2425 και 0,915 V/m. Η διάμεσος (η γραμμή μέσα στο κουτί) είναι 0,765 V/m, υποδεικνύοντας το κεντρικό σημείο της κατανομής. Τα "μουστάκια" του διαγράμματος δείχνουν την διασπορά των δεδομένων, αλλά είναι εμφανές ότι η διασπορά προς τα πάνω είναι πολύ μεγαλύτερη λόγω των ακραίων τιμών. Οι ακραίες τιμές, που απεικονίζονται ως κουκκίδες πάνω από το άνω μουστάκι, είναι 2,18, 2,75, 3,31 και η πολύ υψηλή τιμή 11,66 V/m. Ακόμη, η παρουσία της ακραίας τιμής 11,66 επηρεάζει σημαντικά τον μέσο όρο της κατανομής, ο οποίος είναι 1,06318 V/m. Αυτό δείχνει ότι ο μέσος όρος "έλκεται" προς την κατεύθυνση των ακραίων τιμών και δεν είναι αντιπροσωπευτικός της πλειοψηφίας των δεδομένων. Σε σχέση με την τυπική απόκλιση, αυτή είναι 1,679990254. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει την μεγάλη διακύμανση στα δεδομένα, η οποία επίσης επηρεάζεται από τις ακραίες τιμές. Συνολικά, το **Διάγραμμα 5.1a** δείχνει ότι ενώ οι περισσότερες τιμές avg(V/m) βρίσκονται σε ένα σχετικά χαμηλό εύρος, η παρουσία ορισμένων υψηλών τιμών και ιδιαίτερα της τιμής 11,66, αλλοιώνει τα στατιστικά μέτρα και την οπτική εικόνα της κατανομής των δεδομένων.

Το **Διάγραμμα 5.2a** απεικονίζει κι αυτό την κατανομή των τιμών του Exposure ratio (λ) από τον Πίνακα 1. Το διάγραμμα παρουσιάζει συνοπτικά βασικά στατιστικά χαρακτηριστικά των δεδομένων, συμπεριλαμβανομένου του εύρους, των τεταρτημορίων, της διάμεσου και των ακραίων τιμών (outliers). Το διάγραμμα δείχνει ότι η κατανομή του Exposure ratio (λ) έχει θετική λοξότητα (skewness). Αυτό σημαίνει πρακτικά ότι η ουρά της κατανομής, πράγματι, εκτείνεται προς τα δεξιά. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι υφίστανται περισσότερες τιμές που είναι μικρότερες από τη μέση τιμή, ενώ λίγες ακραίες τιμές βρίσκονται προς τα δεξιά της κατανομής. Επίσης, υπάρχουν ορισμένες υψηλές τιμές που απομακρύνονται από την πλειοψηφία των δεδομένων. Το κουτί του διαγράμματος, που αντιπροσωπεύει το εύρος μεταξύ του πρώτου (Q1) και του τρίτου τεταρτημορίου (Q3), δείχνει ότι το 50% των δεδομένων συγκεντρώνεται μεταξύ 0,33 και 1,365. Η διάμεσος (η γραμμή μέσα στο κουτί) είναι 0,86, υποδεικνύοντας το κεντρικό σημείο της κατανομής. Τα λεγόμενα "μουστάκια" του διαγράμματος δείχνουν την διασπορά των δεδομένων, και είναι εμφανές ότι η διασπορά προς τα πάνω είναι μεγαλύτερη λόγω των ακραίων τιμών. Οι ακραίες τιμές, που απεικονίζονται ως κουκκίδες πάνω από το άνω μουστάκι, είναι 2,7, 2,7, 3,67 και η πολύ υψηλή τιμή 11,66. Η παρουσία της ακραίας τιμής 11,66 επηρεάζει σημαντικά τον μέσο όρο της κατανομής, ο οποίος είναι 1,237. Αυτό δείχνει ότι ο μέσος όρος "έλκεται" προς την κατεύθυνση των ακραίων τιμών και δεν είναι αντιπροσωπευτικός της πλειοψηφίας των δεδομένων. Σε σχέση με την τυπική απόκλιση, αυτή είναι 1,774, υποδεικνύοντας μεγάλη διακύμανση στα δεδομένα, η οποία επίσης επηρεάζεται από τις ακραίες τιμές. Συνολικά, το **Διάγραμμα 5.2a** δείχνει ότι ενώ οι περισσότερες τιμές του Exposure ratio (λ) βρίσκονται σε ένα σχετικά χαμηλό εύρος, η παρουσία ορισμένων υψηλών τιμών και ιδιαίτερα της τιμής 11,66, αλλοιώνει τα στατιστικά μέτρα και την οπτική εικόνα της κατανομής των δεδομένων.

Το **Διάγραμμα 5.3α** είναι ένα box and whisker plot που απεικονίζει την κατανομή των τιμών της μεταβλητής $avg(V/m)$ από τον Πίνακα 2, με την ακραία τιμή των 11,66 V/m να έχει αφαιρεθεί. Το διάγραμμα παρουσιάζει συνοπτικά βασικά στατιστικά χαρακτηριστικά των δεδομένων, συμπεριλαμβανομένου του εύρους, των τεταρτημορίων, της διάμεσου και των ακραίων τιμών (outliers), χωρίς την επιρροή της σημαντικής ακραίας τιμής. Το διάγραμμα δείχνει ότι η κατανομή των τιμών $avg(V/m)$ είναι πιο συμμετρική σε σχέση με το Διάγραμμα 5.1α, καθώς έχει αφαιρεθεί η ακραία τιμή που προκαλούσε την ασυμμετρία. Το κουτί του διαγράμματος, δείχνει ότι το 50% των δεδομένων συγκεντρώνεται σε ένα εύρος τιμών. Η διάμεσος (η γραμμή μέσα στο κουτί) υποδεικνύει το κεντρικό σημείο της κατανομής. Τα "μουστάκια" του διαγράμματος δείχνουν την διασπορά των δεδομένων, και είναι εμφανές ότι η διασπορά προς τα πάνω είναι μικρότερη σε σχέση με το Διάγραμμα 5.1α, λόγω της απουσίας της ακραίας τιμής. Οι ακραίες τιμές, που απεικονίζονται ως κουκκίδες πάνω από το άνω μουστάκι, είναι 2,18, 2,75 και 3,31. Με την αφαίρεση της ακραίας τιμής 11,66, ο μέσος όρος της κατανομής είναι 0,67 και αντιπροσωπεύεται καλύτερα η πλειοψηφία των μετρήσεων των δεδομένων. Η τυπική απόκλιση είναι 0,478 και υποδεικνύει μικρότερη διακύμανση στα δεδομένα σε σύγκριση με το Διάγραμμα 5.1α. Συνολικά, το Διάγραμμα 5.3α δείχνει ότι όταν αφαιρείται η ακραία τιμή, οι τιμές $avg(V/m)$ βρίσκονται σε ένα πιο ομοιογενές εύρος και η κατανομή των δεδομένων είναι πιο κανονική.

Το **Διάγραμμα 5.4α** απεικονίζει την κατανομή των τιμών του Exposure ratio (λ) από τον Πίνακα 2, με την ακραία τιμή των 11,66 να έχει αφαιρεθεί. Το διάγραμμα παρουσιάζει συνοπτικά βασικά στατιστικά χαρακτηριστικά των δεδομένων, συμπεριλαμβανομένου του εύρους, των τεταρτημορίων, της διάμεσου και των ακραίων τιμών (outliers), χωρίς την επιρροή της σημαντικής ακραίας τιμής. Το διάγραμμα δείχνει ότι η κατανομή του Exposure ratio (λ) είναι πιο συμμετρική σε σχέση με το Διάγραμμα 5.2α, καθώς έχει αφαιρεθεί η ακραία τιμή που προκαλούσε την ασυμμετρία. Το κουτί του διαγράμματος, δείχνει ότι το 50% των δεδομένων συγκεντρώνεται σε ένα εύρος τιμών. Η διάμεσος (η γραμμή μέσα στο κουτί) υποδεικνύει το κεντρικό σημείο της κατανομής. Τα "μουστάκια" του διαγράμματος δείχνουν την διασπορά των δεδομένων, και είναι εμφανές ότι η διασπορά προς τα πάνω είναι μικρότερη σε σχέση με το Διάγραμμα 5.2α, λόγω της απουσίας της ακραίας τιμής. Οι ακραίες τιμές, που απεικονίζονται ως κουκκίδες πάνω από το άνω μουστάκι, είναι 2,7 και 3,67. Με την αφαίρεση της ακραίας τιμής 11,66, ο μέσος όρος της κατανομής είναι 0,001341, αντιπροσωπεύοντας καλύτερα την πλειοψηφία των δεδομένων. Η τυπική απόκλιση είναι 0,001077, υποδεικνύοντας μικρότερη διακύμανση στα δεδομένα σε σύγκριση με το Διάγραμμα 5.2α. Συνολικά, το Διάγραμμα 5.4α δείχνει ότι όταν αφαιρείται η ακραία τιμή, οι τιμές του Exposure ratio (λ) βρίσκονται σε ένα πιο ομοιογενές εύρος και η κατανομή των δεδομένων είναι πιο κανονική.

Αναφορικά με τις αθροιστικές κατανομές, προέκυψαν από τη διαδικασία ανάλυσης των δεδομένων, όπου υπολογίστηκε η συσσώρευση των τιμών ακτινοβολίας και η κατανομή τους σε διαφορετικά επίπεδα. Η βασική διαφορά μεταξύ των δύο κατανομών έγκειται στην παρουσία ή απουσία της τιμής 11,66, η οποία, ως γνωστό θεωρείται outlier.

Εν συνεχεία, θα διερευνηθεί πώς επηρεάζει η ύπαρξη ή όχι της τιμής outlier (11,66) τα Διαγράμματα κατανομών 5.1β, 5.2β, 5.3β και 5.4β.

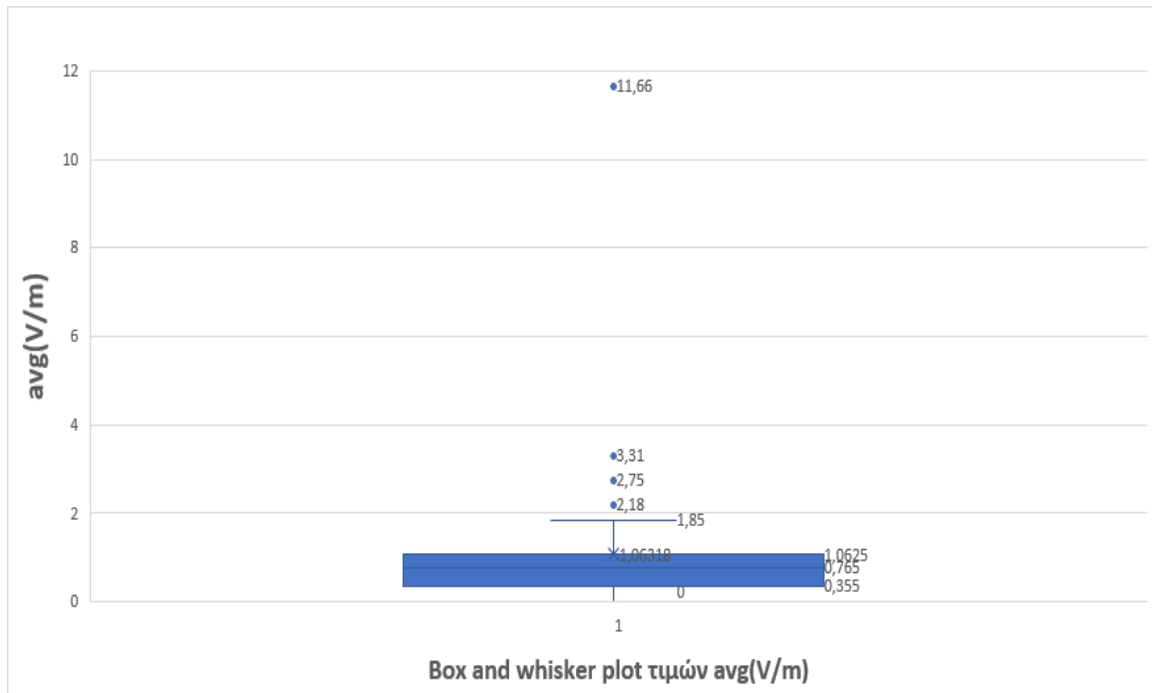
Τα **Διαγράμματα 5.1β** και **5.2β** εμφανίζουν ένα σχετικά εκτεταμένο whisker, το οποίο και υποδεικνύει την ύπαρξη μιας εξαιρετικά υψηλής τιμής (11,66) και την ασυμμετρία της κατανομής. Η κατανομή των δεδομένων στα εν λόγω Διαγράμματα φαίνεται σχετικά πιο "ασύμμετρη", καθώς η υψηλή τιμή επηρεάζει τη συνολική εικόνα της στατιστικής διασποράς.

Αναφορικά με τις αθροιστικές κατανομές χωρίς την τιμή 11,66 (Διαγράμματα 5.3β και 5.4β), η αφαίρεση της τιμής outlier οδηγεί σε πιο "κανονική" κατανομή των τιμών ακτινοβολίας. Ο μέσος όρος μειώνεται σημαντικά, δείχνοντας μια όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτική τάση των δεδομένων. Ακόμη, η τυπική απόκλιση είναι χαμηλότερη, καθώς η συνολική μεταβλητότητα των τιμών είναι

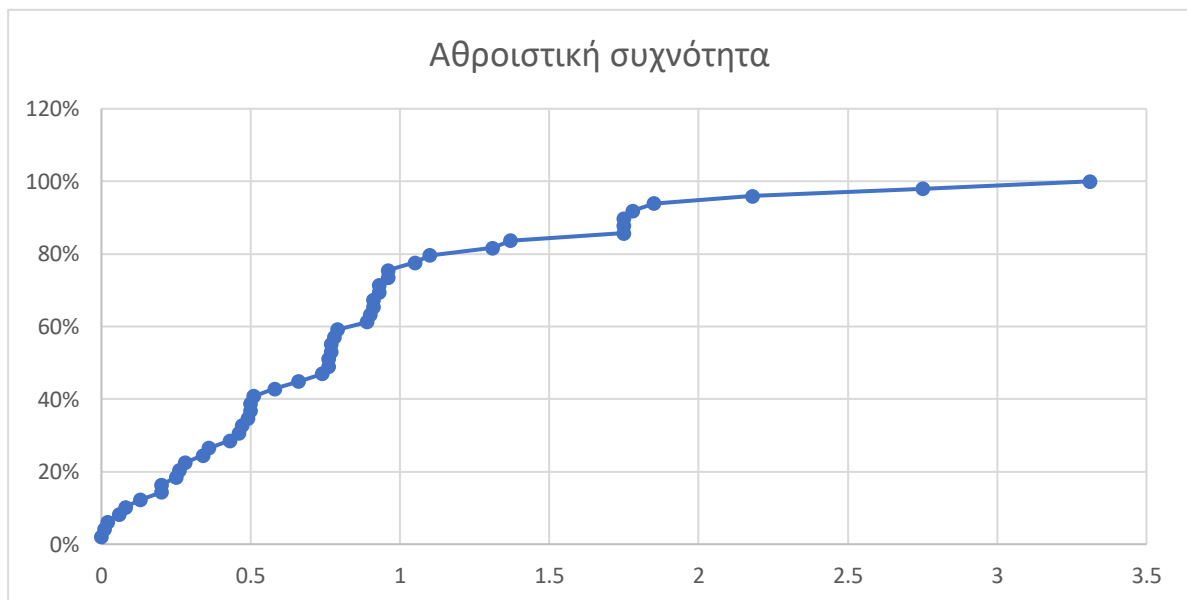
μικρότερη. Τα **Διαγράμματα 5.3β** και **5.4β** που δεν επηρεάζονται από τιμές outliers εμφανίζουν πιο ισορροπημένη κατανομή και επομένως οι ακραίες τιμές δεν επηρεάζουν την ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Με άλλα λόγια, τα εν λόγω Διαγράμματα εμφανίζουν πιο ισορροπημένα "μουστάκια" και μια πιο συμπαγή μορφή, υποδεικνύοντας μικρότερη διασπορά και πιο κανονική κατανομή.

Με δεδομένο ότι οι κατανομές (συμπεριλαμβάνοντας την τιμή 11,66), εμφανίζουν αποκλίσεις, θα πρέπει να διερευνηθεί αν προκύπτουν ως συνέπεια εξωτερικών παραγόντων, όπως η έντονη δραστηριότητα δικτύου ή η προσωρινή αύξηση της ακτινοβολίας.

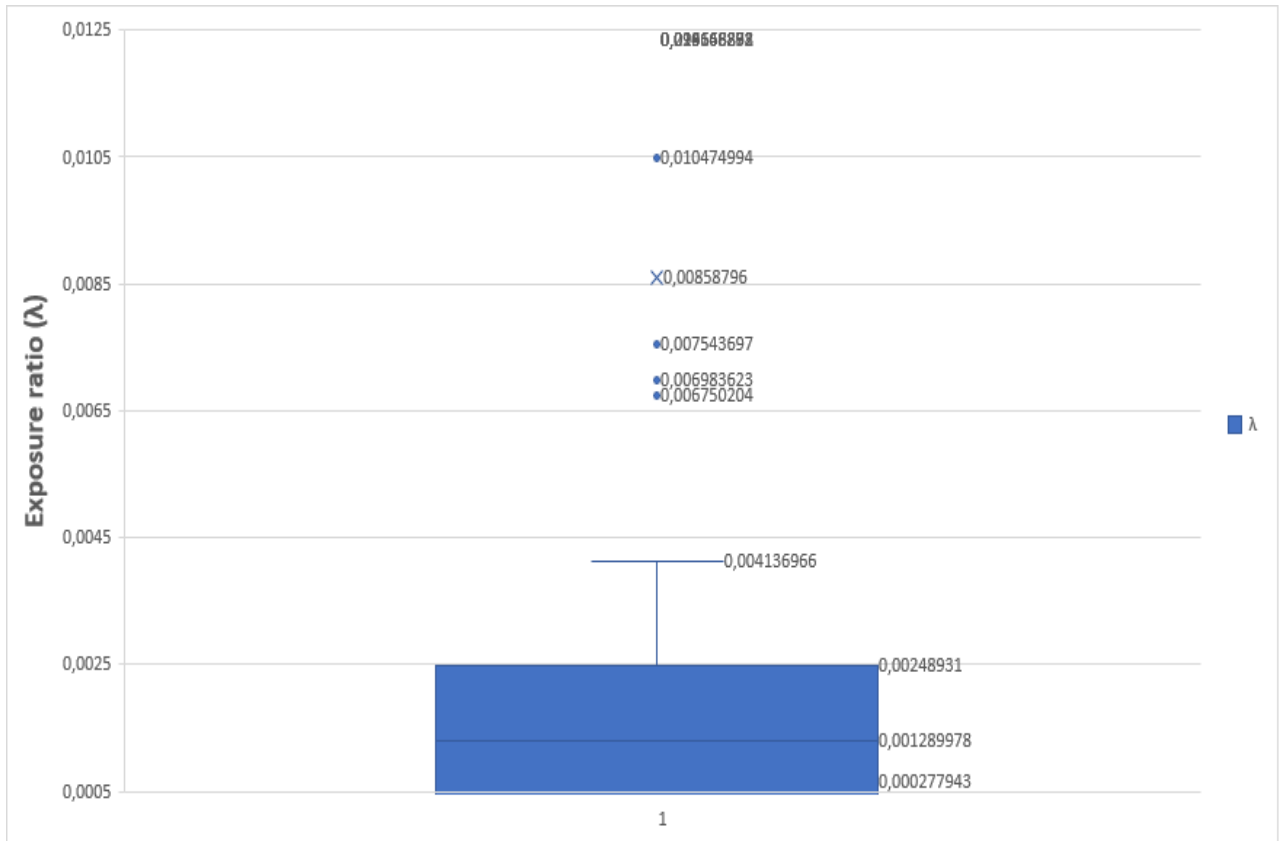
Από τα ανωτέρω, εξάγεται το συμπέρασμα ότι μέσω της ανάλυσης των δεδομένων - με και χωρίς την τιμή outlier - παρέχεται μια πληρέστερη εικόνα επί της πραγματικής έκθεσης στην ακτινοβολία. Με δεδομένο ότι οι κατανομές (συμπεριλαμβανομένης της τιμής 11,66) εμφανίζουν αποκλίσεις, θα μπορούσε να διερευνηθεί αν αυτές προκύπτουν ως συνέπεια εξωτερικών παραγόντων, όπως η έντονη δραστηριότητα του δικτύου ή μια προσωρινή αύξηση της ακτινοβολίας. Η διερεύνηση αυτή μπορεί να περιλαμβάνει την αναζήτηση για συγκεκριμένα γεγονότα ή για τις συνθήκες που συνέβησαν κατά τη διάρκεια της συλλογής δεδομένων και μπορεί να εξηγήσουν τις ακραίες τιμές. Επίσης, από τη συγκέντρωση περισσότερων δεδομένων θα μπορούσε να διαπιστωθεί αν οι ακραίες τιμές είναι μεμονωμένα περιστατικά ή μέρος μιας ευρύτερης τάσης.



Διάγραμμα 5.1α: avg(V/m)
 (συμπεριλαμβάνεται η τιμή 11,66)



Διάγραμμα 5.1β: Αθροιστική κατανομή avg(V/m)
 (συμπεριλαμβάνεται η τιμή 11,66)

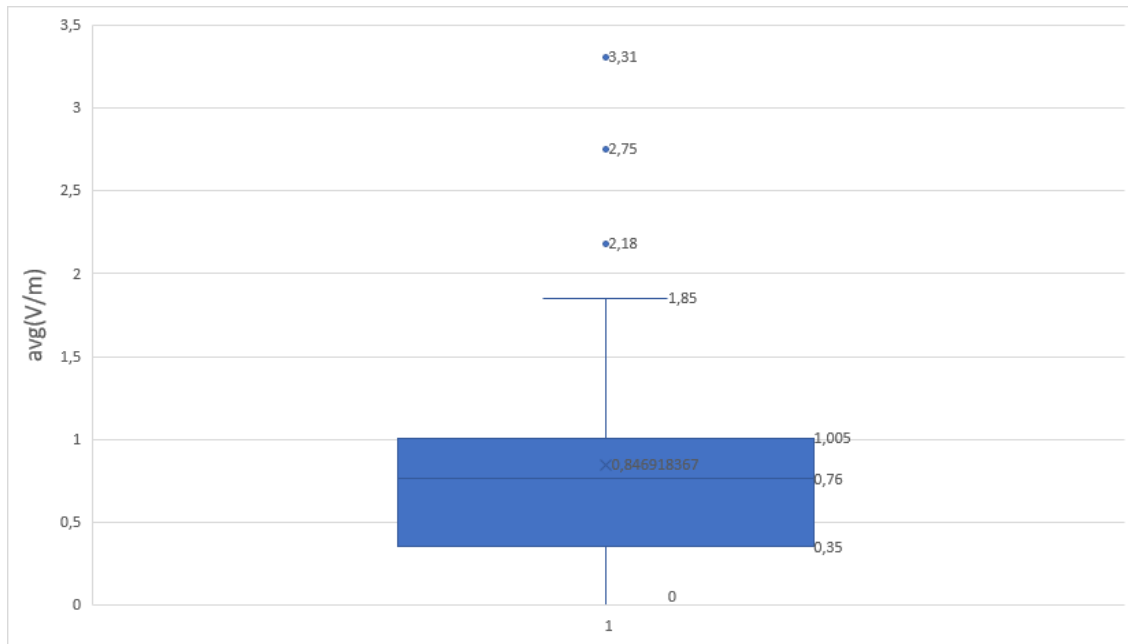


Διάγραμμα 5.2α: Exposure ratio (λ) (συμπεριλαμβάνεται η τιμή 11.66)

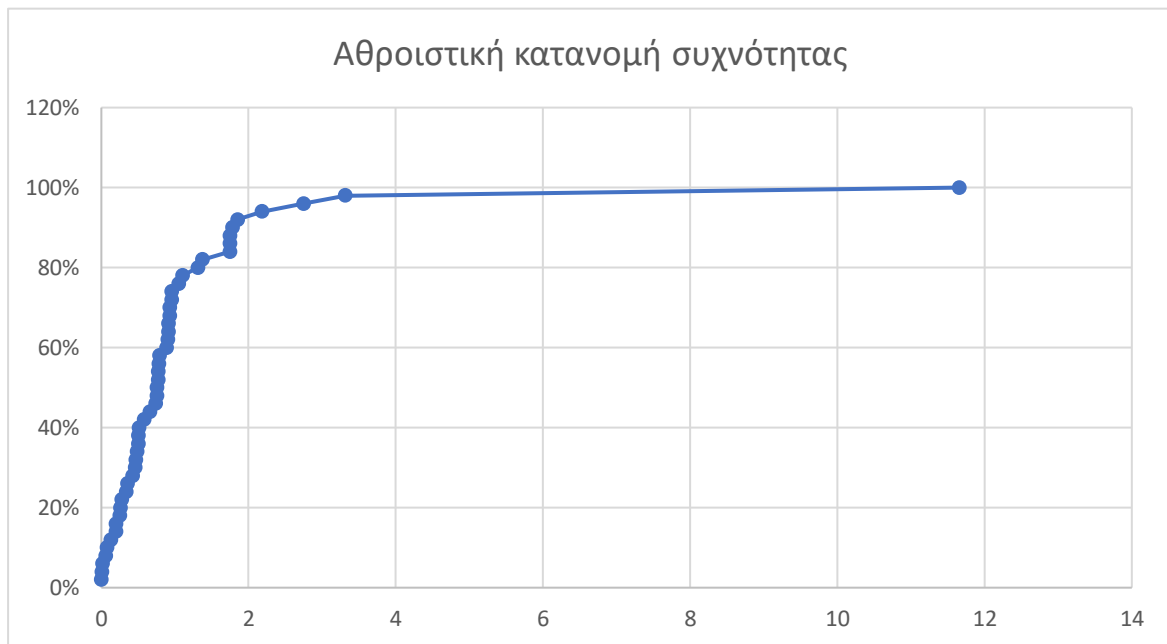


Διάγραμμα 5.2β: Αθροιστική κατανομή Exposure ratio (λ) (συμπεριλαμβάνεται η τιμή 11.66)

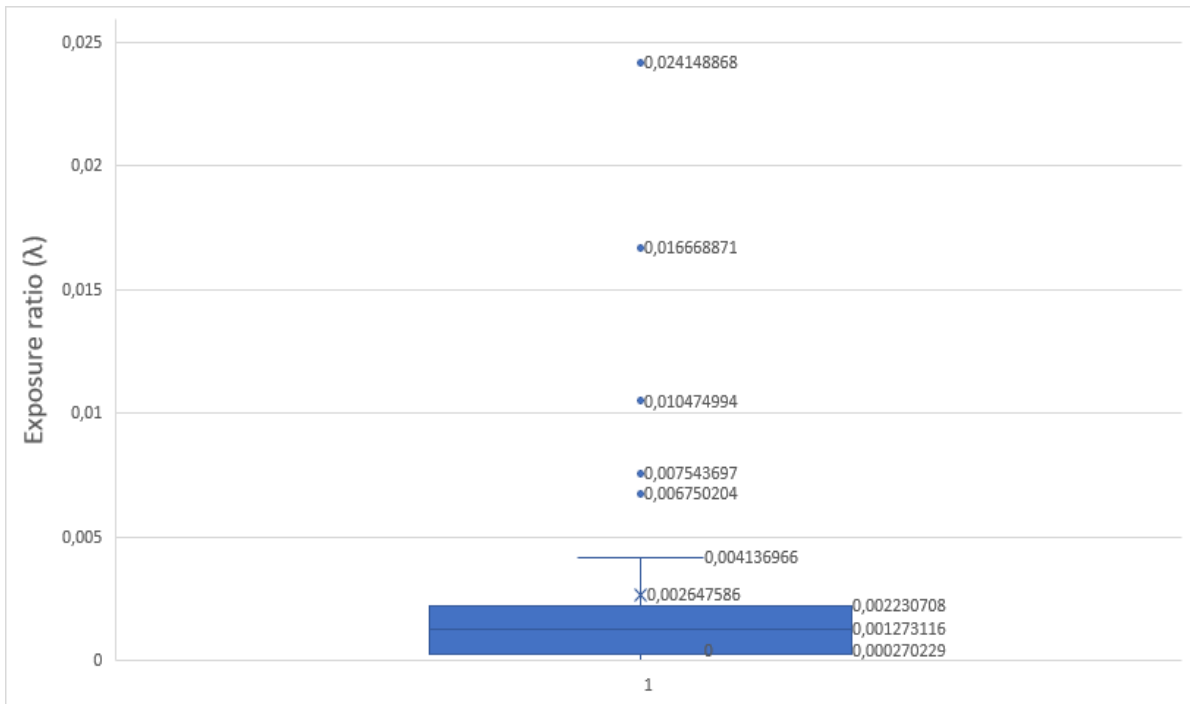
Κεφάλαιο 5



Διάγραμμα 5.3α: avg(V/m)(δεν συμπεριλαμβάνεται η τιμή 11,66)



**Διάγραμμα 5.3β: Αθροιστική κατανομή avg(V/m)
(δεν συμπεριλαμβάνεται η τιμή 11,66)**



Διάγραμμα 5.4α: Exposure ratio (λ)
(δεν συμπεριλαμβάνεται η τιμή 11,66)



Διάγραμμα 5.4β: Αθροιστική κατανομή Exposure ratio (λ)
(δεν συμπεριλαμβάνεται η τιμή 11,66)

Κεφάλαιο 6ο: Συμπεράσματα

Η κατανόηση των στατιστικών μέτρων (μέσος όρος, διάμεσος, τυπική απόκλιση, outliers κλπ.) και των αντίστοιχων περιορισμών τους σε ένα πείραμα μέτρησης, όπως της ακτινοβολίας των κεραιών κινητής τηλεφωνίας που μελετώνται στην παρούσα εργασία είναι ζωτικής σημασίας για τη σωστή ερμηνεία και ανάλυση των δεδομένων.

Η ορθή επιλογή του/των στατιστικού/ών μέτρου/ων συναρτάται από τη φύση του προβλήματος και τη δομή των δεδομένων. Εφαρμόζοντας τα μέτρα σε συγκεκριμένα σενάρια, μπορούμε να λάβουμε αποφάσεις που βασίζονται σε πιο αξιόπιστα συμπεράσματα. Με άλλα λόγια, ο μέσος όρος, η διάμεσος, η τυπική απόκλιση και τα outliers προσφέρουν διαφορετικές οπτικές για τα δεδομένα των μετρήσεων της ακτινοβολίας που διεξήχθησαν. Η χρήση και η ερμηνεία τους πρέπει να γίνεται με γνώμονα τη συνολική εικόνα και τη δομή των δεδομένων.

Ακόμη, με την εφαρμογή των boxplots, όπως στην εργασία μας, παρέχεται η γραφική απεικόνιση της κατανομής των δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των τεταρτημορίων και των outliers. Ως βασικό της πλεονέκτημα είναι ότι φαίνονται ξεκάθαρα τα outliers και το εύρος κατανομής. Τα Boxplots παρέχουν μια οπτική αναπαράσταση της κατανομής, δείχνοντας τη διάμεσο, τα τεταρτημόρια και τα outliers. Επίσης το IQR ως διαφορά μεταξύ του τρίτου και του πρώτου τεταρτημόριου ($Q3 - Q1$) μετρά την "κεντρική διασπορά" των δεδομένων. Το βασικό της πλεονεκτήματα είναι ότι δεν επηρεάζεται σημαντικά από τα outliers, καθώς εξετάζει μόνο το κεντρικό 50% των δεδομένων. Δεν παρέχουν, δηλ. ιδιαίτερα ακριβή αριθμητικά μέτρηση. Ο βασικός της περιορισμός συνδέεται με το γεγονός ότι δεν παρέχεται πληροφορία αναφορικά με τη διασπορά του συνόλου των δεδομένων, μόνο του "μεσαίου πυρήνα". Στην πράξη αυτή η πρακτική τους χρήση αφορά σε δεδομένα με πολλές ακραίες τιμές, όπως π.χ. σε μετρήσεις περιβαλλοντικές, ακτινοβολίας κλπ. Σε σύγκριση με τα αριθμητικά μέτρα (Median, Mean), δίνουν άμεσα μια συνολική εικόνα της κατανομής, συμπεριλαμβανομένων των outliers. επίσης, αν επιθυμούμε μια πιο αξιόπιστη εικόνα του κεντρικού πυρήνα, τότε η διάμεσος, το IQR και τα Box plots προσφέρουν σταθερότητα, όπως στην περίπτωση επιλογής τους στην παρούσα εργασία.

Η ανάλυση των μετρήσεων ακτινοβολίας από κεραιές κινητής τηλεφωνίας δείχνει ότι η πλειονότητα των τιμών βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα, ενώ οι τιμές outliers αντιπροσωπεύουν αιχμές που μπορεί να οφείλονται πιθανά σε κοντινές κεραιές, ανακλάσεις ή αυξημένη χρήση δικτύου.

Επίσης, αναφορικά με τα όρια έκθεσης που έχουν σχεδιαστεί, ώστε να προστατεύουν το κοινό από βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες επιπτώσεις της ακτινοβολίας, η στατιστική ανάλυση δείχνει ότι οι περισσότερες τιμές ακτινοβολίας βρίσκονται εντός των θεσμοθετημένων ορίων, όπως φαίνεται από τη διάμεσο και το IQR. Ωστόσο, οι τιμές outliers μπορεί να ξεπερνούν τα όρια ασφαλείας, γεγονός που απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση.

Οι τιμές που υπερβαίνουν τα όρια ενδέχεται να υποδηλώνουν ότι είτε υπάρχουν σημεία αυξημένης έκθεσης, όπως περιοχές που βρίσκονται κοντά σε κεραιές υψηλής ισχύος είτε υπάρχουν περιοχές με υψηλή πυκνότητα χρήσης κινητής τηλεφωνίας, όπου η εκπομπή αυξάνεται.

Επομένως, αναφορικά με τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε διάφορα σημεία των περιοχών της Καλαμαριάς και της Χαριλάου, καταδεικνύεται ότι η ύπαρξη πυκνής αστικής δόμησης, αυξημένης κυκλοφορίας και ποικιλίας τηλεπικοινωνιακών υποδομών μπορεί να επηρεάσει την εκπομπή των κεραιών. Η ανάλυση των δεδομένων αυτών συμβάλλει στην αξιολόγηση της συμμόρφωσης με τα διεθνή πρότυπα ασφαλείας. Ωστόσο, η συντριπτική πλειοψηφία των τιμών των μετρήσεων βρίσκεται εντός των θεσμοθετημένων ορίων, επιβεβαιώνοντας ότι η έκθεση μπορεί να θεωρηθεί ως διαχειρίσιμη στις περισσότερες περιπτώσεις. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για περαιτέρω έρευνα και βελτίωση των τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών στις εν λόγω περιοχές.

Να σημειωθεί, επίσης, ότι οι τιμές outliers απαιτούν περαιτέρω διερεύνηση, καθώς μπορεί να υποδηλώνουν τοπικές υπερβάσεις των ορίων. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι η συμμόρφωση με τα όρια ακτινοβολίας είναι κρίσιμη και οι αρμόδιες αρχές οφείλουν να συνεχίσουν την παρακολούθηση και τον έλεγχο των εκπομπών.

Σύμφωνα με τα ευρήματα της εργασίας, θα μπορούσαν να προταθούν ορισμένες πολιτικές βελτίωσης της τηλεπικοινωνιακής υποδομής με μέριμνα για τη δημόσια υγεία. Πιο συγκεκριμένα, θα μπορούσε να ληφθεί μέριμνα για την προσαρμογή της διάταξης των κεραιών. Τα δεδομένα που δείχνουν ότι προκύπτουν και υψηλές τιμές ακτινοβολίας στις περιοχές που ερευνήθηκαν. Γι' αυτό ίσως υπάρχει ανάγκη για περαιτέρω ορθολογική κατανομή των κεραιών, ώστε να μειώνονται οι πιθανές υπερβολικές εκπομπές. Επίσης, η εμφάνιση ακραίων τιμών ακτινοβολίας (outliers) φανερώνει ότι υφίσταται σχετικά αυξημένη έκθεση του κοινού. Στο πλαίσιο αυτό, η ενημέρωση των κατοίκων και των επαγγελματιών σχετικά με τη βέλτιστη χρήση των ασύρματων δικτύων δύναται να περιορίσει την έκθεση σε ακτινοβολία. Στο πλαίσιο αυτό, οι αρμόδιοι φορείς θα μπορούσαν να αξιοποιήσουν τα δεδομένα της εργασίας, ώστε να ενισχύσουν τους ελέγχους συμμόρφωσης με τα όρια ακτινοβολίας, με έμφαση στα σημεία όπου παρατηρούνται οι ακραίες τιμές. Επιπλέον, η στρατηγική τοποθέτηση των κεραιών και η προσαρμογή της ισχύος εκπομπής, θα μπορούσαν να συμβάλουν στην ελαχιστοποίηση της έκθεσης στην ακτινοβολία, ενώ παράλληλα να μειώνεται η ποιότητα παροχής των υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας.

Τέλος, βάσει των ευρημάτων της εργασίας, μια σημαντική προοπτική για μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να αποτελέσει η διερεύνηση της σχέσης μεταξύ των μετρήσεων ακτινοβολίας και της πραγματικής ανθρώπινης έκθεσης σε συγκεκριμένες τοποθεσίες, καθώς η πυκνότητα της αστικής δόμησης και η αυξημένη τηλεπικοινωνιακή δραστηριότητα μπορεί να επηρεάσουν τα επίπεδα ακτινοβολίας σε απρόσμενο βαθμό. Παράλληλα, τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για τη βελτίωση των τηλεπικοινωνιακών υποδομών, διασφαλίζοντας τη βέλτιστη ισορροπία μεταξύ ποιότητας υπηρεσιών και συμμόρφωσης με τα όρια ασφαλείας. Επιπλέον, η αναγνώριση των περιοχών όπου καταγράφονται τιμές outliers προσφέρει τη δυνατότητα για πιο στοχευμένους ελέγχους και πιθανές προσαρμογές των εκπομπών, ώστε να διασφαλίζεται η τήρηση των διεθνών προτύπων ασφαλείας. Η ανάλυση αυτή μπορεί να συμβάλει στον εμπλουτισμό των κανονισμών ασφαλείας και στην ενημέρωση των αρμόδιων αρχών σχετικά με τις τάσεις εκπομπής και τις ανάγκες για διαρκή παρακολούθηση και έλεγχο, ιδιαίτερα σε περιοχές με έντονη αστική ανάπτυξη. Συνολικά, η μελέτη προσφέρει πολύτιμα δεδομένα που μπορούν να αξιοποιηθούν τόσο σε επιστημονικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο, ενισχύοντας τη γνώση σχετικά με τη δυναμική της ακτινοβολίας κινητής τηλεφωνίας και τη βέλτιστη διαχείρισή της.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλία

- [1] E. J. Hall and A. J. Giaccia, Radiobiology for the Radiologist. Lippincott Williams & Wilkins, 2012.
- [2] C. C. Aggarwal, "Outlier Analysis", 2nd ed., Springer, 2017.
- [3] D. Howell, "Fundamental Statistics for the Behavioral Sciences", 6th ed. Belmont, CA: Thomson Wadsworth, 2008.
- [4] B. Greenebaum and F. Barnes, Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields, Vol. 1. Biological and Medical Aspects of Electromagnetic Fields, 4th ed., Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2019.

Data Sheet

- [5] PMM, "PMM 8053A Portable Field Meter," datasheet, Apr. 2004

Internet Site

- [6] NASA, "Electromagnetic Spectrum Poster," NASA Science, Aug. 2024. [Online]. Available: <https://science.nasa.gov/wp-content/uploads/2024/08/d1888electromagspectrumposter-11x17-1.pdf>
- [7] EBU, "Spectrum Management Review," Tech Review, [Online]. Available: https://tech.ebu.ch/docs/techreview/trev_309-spectrum.pdf
- [8] ITU, "World Radiocommunication Conference 2012 Report," ITU Publications, 2015. [Online]. Available: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/act/R-ACT-WRC.12-2015-PDF-E.pdf
- [9] "An Overview of Frequency Bands and Their Applications," resources.pcb.cadence.com, [Online]. Available: <https://resources.pcb.cadence.com/blog/2022-an-overview-of-frequency-bands-and-their-applications>
- [10] "Capítulo 48 Radiaciones ionizantes. En," [Online]. Available: <https://www.insst.es/documents/94886/162520/Cap%C3%ADtulo+48.+Radiaciones+ionizantes>.
- [11] Igor Belyaev, "Main Regularities and Health Risks from Exposure to Non-Thermal Microwaves of Mobile Communication," Oct. 2019, [Online]. Available: https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/scheer/docs/emf2022/2019_Belyaev_Regularities.pdf
- [12] Unknown Author, "On the Health Risks of 5G Technologies," ES Ireland, Apr. 2020. [Online]. Available: <https://es-ireland.com/wp-content/uploads/2020/04/on-the-health-risks-of-5g-technologies-flyer-2020-ireland.pdf>
- [13] N. Nasiar and A. Rani, "Detrimental Effects of Mobile Phone Radiations on Human Health," IEEE Xplore, Nov. 01, 2018. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8710397/>
- [14] Mz Tanim, "Electromagnetic Radiation and Human Health.," May 01, 2015. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/310426721>
- [15] "5G Wireless Technology: Millimeter Wave Health Effects," Saferemr.com, 2017. [Online]. Available: <https://www.saferemr.com/2017/08/5g-wireless-technology-millimeter-wave.html>
- [16] "Biological effects of infrared radiation.," www.cdc.gov, Sep. 2020.

- [17] Unknown Authors, "Radiation Effects on Human Health," SJR Publishing, 2019. [Online]. Available: <https://sjr-publishing.com/wp-content/uploads/2019/03/Radiation-effects-on-human-health.pdf>
- [18] European Agency for Safety and Health at Work, "European standards | Safety and health at work EU-OSHA," Europa.eu, Dec. 21, 2021. [Online]. Available: <https://osha.europa.eu/el/european-standards>.
- [19] "CEN-CENELEC ΟΔΗΓΟΣ 30." Accessed: Mar. 15, 2025. [Online]. Available: <cencleguide30.pdf>
- [20] "CEN in Figures," CEN-CENELEC, 2025. [Online]. Available: <https://www.cencenelec.eu/about-cen/cen-in-figures/>.
- [21] CEN Community "List of members", standards.cencenelec.eu. [Online] Available: <https://standards.cencenelec.eu/dyn/www/f?p=CEN:5>
- [22] "Protection norms and standards," [Online] Available: www.who.int. <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/radiation-and-health/protection-norms>
- [23] S. Dahmen-Lhuissier, "ETSI," ETSI, 2012. [Online] Available: <https://www.etsi.org/about>
- [24] "Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας - Αρχική," eeae.gr. [Online] Available: <https://eeae.gr>
- [25] ΕΛΙΝΥΑΕ, "Εθνική Νομοθεσία για Υγεία και Ασφάλεια: ΠΔ 101/2018," 2018. [Online]. Available: <https://www.elinyae.gr/ethniki-nomothesia/pd-1012018-fek-194a-20112018>
- [26] "An Overview of Outlier Detection Methods Dr. Maciej Celi Ski." [Online] Available: https://journalspress.com/LJER_Volume24/An-Overview-of-Outlier-Detection-Methods.pdf
- [27] N. Annalakshmi and S. Umarani, "Analysis of the Penetration of 5G Wireless RF-EMF on Human Skin," Oct. 14, 2023. [Online] Available: <https://arxiv.org/abs/2310.09607>
- [28] G. Alcocer, P. Alcocer, X. Alcocer, and C. Márquez, "Burn Due to the Use of the Mobile Telephone and Interaction of the Non-Ionizing Radiation With the Electric Field of High Voltage," 2018. [Online] Available: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3749417

Paper in Conference Proceedings

- [29] "Specific Absorption Rate (SAR) for Cellular Telephones," Federal Communications Commission, Jul. 19, 2011.
- [30] M. Fernández, D. Guerra, U. Gil, and I. Peña, "Measurements and analysis of 5G mobile communications signals in outdoor environments," 2023 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB), pp. 1–5, Jun. 2023
- [31] A. Malek. Laissaoui, S. Mezouad, and B. Nekhoul, "SAR Evaluation in Human Head Exposed to RF Radiation," 2022 2nd International Conference on Advanced Electrical Engineering (ICAEE), pp. 1–6, Oct. 2022.
- [32] K. M. S. Thotahewa, J.-M. Redoute, and M. R. Yuce, "Electromagnetic and thermal effects of IR-UWB wireless implant systems on the human head," 2013 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), pp. 5179–5182, Jul. 2013
- [33] T. Wu, T. S. Rappaport and C. M. Collins, "The human body and millimeter-wave wireless communication systems: Interactions and implications," 2015 IEEE International Conference on Communications (ICC), London, UK, pp. 2423-2429, 2015

Journal Articles

[34] Council of the European Union, "Council Recommendation of 12 July 1999 on the Limitation of Exposure of the General Public to Electromagnetic Fields (0 Hz to 300 GHz)," *Official Journal of the European Communities*, vol. 199, pp. 59–70, 1999.

[35] Yahia Hasan Jazyah, "Thermal and Nonthermal Effects of 5 G Radio-Waves on Human's Tissue," *The Scientific World JOURNAL*, vol. 2024, no. 1, Jan. 2024.

[36] I. Belyaev et al., "Scientific evidence invalidates health assumptions underlying the FCC and ICNIRP exposure limit determinations for radiofrequency radiation: implications for 5G," *Environmental Health*, vol. 21, no. 1, Oct. 2022.

[37] A. Crane, "Investigating Non-Thermal Effects of RF EMF on Human Health: A Comprehensive Review," Feb. 14, 2024.

[38] N. Dagli, R. Dagli, and L. Thangavelu, "Interaction of millimetre waves used in 5g network with cells and tissues of head-and-neck region: A literature review," *Advances in Human Biology*, vol. 0, no. 0, p. 0, 2023.

[39] A. M. Marjanović, I. Pavičić, and I. Trošić, "Biological indicators in response to radiofrequency/microwave exposure," *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology*, vol. 63, no. 3, pp. 407–416, Sep. 2012.

[40] T. Sofri et al., "Health Effects of 5G Base Station Exposure: A Systematic Review," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 41639–41656, 2022

[41] K. Yang et al., "Enhancing dielectric strength of thermally conductive epoxy composites by preventing interfacial charge accumulation using micron-sized diamond," *Composites Science and Technology*, vol. 221, p. 109178, Apr. 2022.

[42] A. Di Ciaula, "Towards 5G communication systems: Are there health implications?," *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, vol. 221, no. 3, pp. 367–375, Apr. 2018.

[43] E. Mozaffariahrar, F. Theoleyre, and M. Menth, "A Survey of Wi-Fi 6: Technologies, Advances, and Challenges," *Future Internet*, vol. 14, no. 10, p. 293, Oct. 2022.

[44] E. Adebayo, A. Adeyo, A. Ayandele, and I. Omomowo, "Effect of Radiofrequency Radiation from Telecommunication Base Stations on Microbial Diversity and Antibiotic Resistance," *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, vol. 18, no. 4, p. 669, Feb. 2015.

[45] P. Schroeder, J. Haendeler, and J. Krutmann, "The role of near infrared radiation in photoaging of the skin," *Experimental Gerontology*, vol. 43, no. 7, pp. 629–632, Jul. 2008.

[46] J. C. Weaver and R. D. Astumian, "The response of living cells to very weak electric fields: The thermal noise limit," *Science*, vol. 247, pp. 459–462, 1990.

[47] M. Bier, "Gauging the strength of power frequency fields against membrane electrical noise," *Bioelectromagnetics*, vol. 26, pp. 595–609, 2005.

[48] K. Sathiyaa and K. Ramachandran, "Impacts of Radiation on Human Health: A Narrative Review," *Journal of Radiology and Medical Imaging*, vol. 7, no. 1, p. 1095, 2024.

[49] "Principles for Non-Ionizing Radiation Protection," *Health Physics*, vol. 118, no. 5, pp. 477–482, May 2020.

[50] C. Karbiwnyk, P. Stafford, E. Malkin, K. Garnick, T. A. Scott, and C. Wei, "Ionizing Radiation Dose to the Skin Assessed after Rapid Detection of ²³²Th in Consumer Products," *Health Physics*, vol. 128, no. 4, pp. 279–285, Nov. 2024.

[51] E. Cardis et al., "The 15-Country Collaborative Study of Cancer Risk among Radiation Workers in the Nuclear Industry: estimates of radiation-related cancer risks," *Radiation Research*, vol. 167, no. 4, pp. 396–416, Apr. 2007.

[52] M. P. Little, A. Gola, and I. Tzoulaki, "A Model of Cardiovascular Disease Giving a Plausible Mechanism for the Effect of Fractionated Low-Dose Ionizing Radiation Exposure," *PLoS Computational Biology*, vol. 5, no. 10, p. e1000539, Oct. 2009.

[53] P. Slovic, "Perception of Risk from Radiation," *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 68, no. 3, pp. 165–180, Dec. 1996.

[54] N. Takahashi et al., "Association between low doses of ionizing radiation, administered acutely or chronically, and time to onset of stroke in a rat model," *Journal of radiation research*, vol. 61, no. 5, pp. 666–673, Aug. 2020.

[55] J. G. Kiang and A. O. Olabisi, "Radiation: a poly-traumatic hit leading to multi-organ injury," *Cell & Bioscience*, vol. 9, no. 1, Mar. 2019.

[56] International Commission of Non Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), "Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)," *Health Phys.*, vol. 74, pp. 494–522, 1998.

[57] T. N. Kapetanakis, M. P. Ioannidou, A. T. Baklezos, C. D. Nikolopoulos, E. S. Sergaki, A. J. Konstantaras, and I. O. Vardiambasis, "Assessment of radiofrequency exposure in the vicinity of school environments in Crete Island, South Greece," *Applied Sciences*.

[58] Arefeh Mazarei, R. Sousa, João Mendes-Moreira, Slavo Molchanov, and Hugo Miguel Ferreira, "Online boxplot derived outlier detection," *International journal of data science and analytics*, May 2024.

[59] B. Dastjerdy, A. Saeidi, and S. Heidarzadeh, "Review of Applicable Outlier Detection Methods to Treat Geomechanical Data," *Geotechnics*, vol. 3, no. 2, pp. 375–396, Jun. 2023.

[60] Ramnath Takiar, "A NEW METHOD TO IDENTIFY THE OUTLIERS BASED ON THE INTER QUARTILE RANGE," vol. 11, no. 4, pp. 103–114, Oct. 2023.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Πίνακας 1: Μετρήσεις (συμπεριλαμβάνεται η τιμή της μέτρησης με $\alpha/\alpha:9.3$,
 $\text{avg(V/m)}=11,66$)

α/α	min(V/m)	max(V/m)	avg(V/m)	λ	E-Field (V/m)			Exposure Ratio(λ)		
					Mean	SD	Median	Mean	SD	Median
3.1	0,4	0,78	0,5	0,000551037	1,06318	1,67999	0,765	0,008588	0,042237	0,00129
3.2	0,02	2	1,1	0,002667019						
3.3	0,78	1,7	0,91	0,001825255						
3.4	1,14	1,95	1,37	0,004136966						
3.5	0,97	1,71	1,31	0,003782539						
3.6	0,46	0,62	0,49	0,000529216						
4.1	0	0,25	0,02	8,81659E-07						
4.2	0	0,32	0	0						
4.3	0	0,25	0,08	1,41065E-05						
4.4	0,48	1,21	0,76	0,001273116						
4.5	0,61	1,11	0,76	0,001273116						
5.1	0,14	0,43	0,25	0,000137759						
5.2	0,88	3,67	1,75	0,006750204						
5.3	0,65	0,99	0,78	0,001341004						
5.4	0,18	0,99	0,34	0,0002548						
5.5	0	0,82	0,009	1,78536E-07						
5.6	0	0,98	0,26	0,000149						
5.7	0,41	1,17	0,58	0,000741475						
6.1	0,11	0,33	0,2	8,81659E-05						
6.2	0	0,34	0,13	3,72501E-05						
6.3	0	0,44	0,2	8,81659E-05						
6.4	1,38	2,7	1,85	0,007543697						
7.1	1,43	2,49	1,75	0,006750204						
7.2	0,8	2,06	1,05	0,002430073						
7.3	2,46	5,56	2,75	0,016668871						
7.4	0,47	1,15	0,66	0,000960127						
7.5	0	0,24	0,06	7,93493E-06						
7.6	0,26	0,74	0,46	0,000466398						
8.1	0,58	1,13	0,77	0,001306839						
8.2	0,59	0,93	0,74	0,001206992						
8.3	1,77	2,67	2,18	0,010474994						
8.4	1,3	2,72	1,75	0,006750204						
8.5	0,68	1,03	0,9	0,00178536						
9.1	0,55	1,25	0,77	0,001306839						
9.2	1,74	1,47	0,96	0,002031343						
9.3	8,2	27,97	11,66	0,299666292						
9.4	2,49	6,91	3,31	0,024148868						
9.5	0,62	1,82	0,93	0,001906368						

9.6	0,65	1,04	0,79	0,001375609
10.1	0,33	0,5	0,43	0,000407547
10.2	0,36	0,61	0,51	0,000573299
10.3	0,31	0,42	0,36	0,000285658
12.1	1,32	2,63	1,78	0,006983623
12.2	0,31	0,76	0,5	0,000551037
12.3	0,16	0,51	0,28	0,000172805
12.4	0,3	0,63	0,47	0,000486896
13.1	0,74	1,2	0,91	0,001825255
13.2	0,62	1,34	0,89	0,001745906
13.3	0,66	1,41	0,96	0,002031343
13.4	0,65	1,39	0,93	0,001906368

Πίνακας 2: Μετρήσεις (δεν συμπεριλαμβάνεται η τιμή της μέτρησης με α/α:9.3, avg(V/m)=11,66)

α/α	min(V/m)	max (V/m)	avg (V/m)	λ	E-Field (V/m)			Exposure Ratio(λ)		
					Mean	SD	Median	Mean	SD	Median
3.1	0,4	0,78	0,5	0,000551037	1,06318	1,67999	0,765	0,008588	0,042237	0,00129
3.2	0,02	2	1,1	0,002667019						
3.3	0,78	1,7	0,91	0,001825255						
3.4	1,14	1,95	1,37	0,004136966						
3.5	0,97	1,71	1,31	0,003782539						
3.6	0,46	0,62	0,49	0,000529216						
4.1	0	0,25	0,02	8,81659E-07						
4.2	0	0,32	0	0						
4.3	0	0,25	0,08	1,41065E-05						
4.4	0,48	1,21	0,76	0,001273116						
4.5	0,61	1,11	0,76	0,001273116						
5.1	0,14	0,43	0,25	0,000137759						
5.2	0,88	3,67	1,75	0,006750204						
5.3	0,65	0,99	0,78	0,001341004						
5.4	0,18	0,99	0,34	0,0002548						
5.5	0	0,82	0,009	1,78536E-07						
5.6	0	0,98	0,26	0,000149						

5.7	0,41	1,17	0,58	0,000741475
6.1	0,11	0,33	0,2	8,81659E-05
6.2	0	0,34	0,13	3,72501E-05
6.3	0	0,44	0,2	8,81659E-05
6.4	1,38	2,7	1,85	0,007543697
7.1	1,43	2,49	1,75	0,006750204
7.2	0,8	2,06	1,05	0,002430073
7.3	2,46	5,56	2,75	0,016668871
7.4	0,47	1,15	0,66	0,000960127
7.5	0	0,24	0,06	7,93493E-06
7.6	0,26	0,74	0,46	0,000466398
8.1	0,58	1,13	0,77	0,001306839
8.2	0,59	0,93	0,74	0,001206992
8.3	1,77	2,67	2,18	0,010474994
8.4	1,3	2,72	1,75	0,006750204
8.5	0,68	1,03	0,9	0,00178536
9.1	0,55	1,25	0,77	0,001306839
9.2	1,74	1,47	0,96	0,002031343
9.4	2,49	6,91	3,31	0,024148868
9.5	0,62	1,82	0,93	0,001906368
9.6	0,65	1,04	0,79	0,001375609
10.1	0,33	0,5	0,43	0,000407547
10.2	0,36	0,61	0,51	0,000573299
10.3	0,31	0,42	0,36	0,000285658
12.1	1,32	2,63	1,78	0,006983623
12.2	0,31	0,76	0,5	0,000551037
12.3	0,16	0,51	0,28	0,000172805
12.4	0,3	0,63	0,47	0,000486896
13.1	0,74	1,2	0,91	0,001825255
13.2	0,62	1,34	0,89	0,001745906
13.3	0,66	1,41	0,96	0,002031343
13.4	0,65	1,39	0,93	0,001906368

