



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΉ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Προσδιορισμός της Απόδοσης της Ηλεκτρομαγνητικής
Θωράκισης Πλεκτών Αγωγίμων Υφασμάτων σε Σχέση με
τις Δομές Πλέξης»**

Φοιτήτρια: Σοφία Μουδάτσου (43709)

Επιβλέποντες Καθηγητές :

Γεώργιος Πρινιωτάκης , Καθηγητής

Εμμανουέλα Σφυρόερα, Λέκτορας Εφαρμογών

ΑΘΗΝΑ 2021



DETERMINATION OF THE PERFORMANCE OF
ELECTROMAGNETIC SHELLING OF KNITTED FABRICS
IN RELATION TO THE KNITTING STRUCTURES

Sofia Moudatsou (43709)

Supervisors:

Georgios Priniotakis , Professor

Emmanouela Sfyroera, Lecturer

ATHENS 2021



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΣΧΟΛΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**Προσδιορισμός της Απόδοσης της Ηλεκτρομαγνητικής Θωράκισης Πλεκτών
Αγώγιμων Υφασμάτων σε Σχέση με τις Δομές Πλέξης**

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

A/α	ΟΝΟΜΑΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΑΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗΥΠΟΓΡΑΦΗ
	Γεώργιος Πρινιωτάκης	Καθηγητής	
	Αναστάσιος Γκοτσόπουλος	Επίκουρος Καθηγητής	
	Εμμανουέλα Σφυρόρα	Λέκτορας Εφαρμογών	

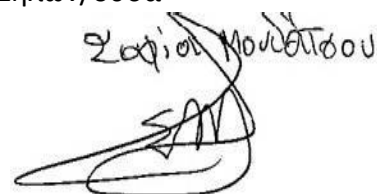
ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Μουδάτσου Σοφία του Ιωάννη, με αριθμό μητρώου 43709 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής δηλώνω υπεύθυνα ότι: «Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

**Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή*

Ο/Η Δηλών/ούσα

Σοφία Μουδάτσου


* Ονοματεπώνυμο/ιδιότητα

(Υπογραφή)

Ψηφιακή Υπογραφή/Επιβλέποντα* Σε εξαιρετικές περιπτώσεις και μετά από αιτιολόγηση και έγκριση του επιβλέποντα, προβλέπεται χρονικός περιορισμός πρόσβασης (embargo) 6-12 μήνες. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να υπογράψει ψηφιακά ο/η επιβλέπων/ουσα καθηγητής/τρια, για να γνωστοποιεί ότι είναι ενημερωμένος/η και συναινεί. Οι λόγοι χρονικού αποκλεισμού πρόσβασης περιγράφονται αναλυτικά στις πολιτικές του Ι.Α. (σελ. 6):

https://www.uniwa.gr/wp-content/uploads/2021/01/%CE%A0%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%B5%CC%81%CF%82_%CE%99%CE%B4%CF%81%CF%85%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%85%CC%81_%CE%91%CF%80%CE%BF%CE%B8%CE%B5%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B9%CC%81%CE%BF%CF%85_final.pdf.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε το έτος 2019 και υποβλήθηκε στο τμήμα Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

Ευχαριστούμε όλους τους καθηγητές μας που χάρη σε αυτούς φτάσαμε εδώ που είμαστε τώρα και ιδιαίτερα τον κύριο Πρινωτάκη Γεώργιο καθώς και την κυρία Σφυρόερα Εμμανουέλα, εισηγητές της διπλωματικής μου εργασίας για την υπόδειξη του θέματος και την συνεχή τους καθοδήγηση, αλλά και τους κυρίους Τζεράχογλου Αναστάσιο και Μυτηλιναίο Στέλιο.

Copyright © Μουδάτσου Σοφία, 2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος, All rights reserved

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τους συγγραφείς και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής .

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	7
Περιεχόμενα Εικόνων	8
Περιεχόμενα	8
Εισαγωγή	9
Κεφάλαιο 1- Η Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία	11
1.1 Ορισμός	11
1.2 Η επίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στον άνθρωπο	18
1.2.1 Ο ρόλος της απόστασης στην επίδραση της υγείας	28
Κεφάλαιο 2- Η Ηλεκτρομαγνητική Θωράκιση	32
2.1 Τι είναι η ηλεκτρομαγνητική θωράκιση	32
2.2 Υλικά θωράκισης	32
2.2.1 Κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα θωράκισης	33
2.3 Θωράκιση υψηλών και χαμηλών συχνοτήτων	34
Κεφάλαιο 3 – Πειραματικό Μέρος	37
3.1 Σκοπός του ελέγχου	37
3.2 Αρχή του ελέγχου	38
3.3 Κλιματισμός	38
3.4 Εξοπλισμός δοκιμια	38
3.5 Διαδικασία δοκιμής	39
3.5.1 Ηλεκτρονική πλεκτομηχανή CMS211.6	39
3.5.2 VNA, Κυματοδηγός	40
3.6 Αποτελέσματα, Συζήτηση Αποτελεσμάτων	41
3.7 Συμπεράσματα	44
<u>Βιβλιογραφία</u>	47

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα	13
Εικόνα 2. Ο μηχανισμός της ηλεκτρομαγνητικής θωράκισης.....	36
Εικόνα 3. Ηλεκτρονική πλεκτομηχανή CMS211.6.....	41
Εικόνα 4. (α) Σχηματική απεικόνιση του κουτιού δοκιμής που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις EMSE και (β) φωτογραφία της δοκιμαστικής κλίνης με το δείγμα υφάσματος τοποθετημένο και ασφαλισμένο μεταξύ δύο ευθύγραμμων κυματοδηγών.....	41
Εικόνα 5. Κατακόρυφος προσανατολισμός των αγώγιμων νημάτων.....	44
Εικόνα 6. Οριζόντιος προσανατολισμός των αγώγιμων νημάτων.....	44

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1. Συστάσεις για το ευρύ κοινό για τα πεδία συχνότητας της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας γύρω από σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας.....	31
Πίνακας 2. Συνιστώμενη απόσταση από πηγές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας	31
Πίνακας 3. Προδιαγραφές νήματος.....	41
Πίνακας 4. Προδιαγραφές δείγματος.....	41

Εισαγωγή

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αναφέρεται στα κύματα (ή στις κβάντες, τα φωτόνια τους) του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, τα οποία μεταδίδουν (ακτινοβολούν) διαμέσου του χώρου και φέρουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολούμενη ενέργεια. Περιλαμβάνει ραδιοκύματα, μικροκύματα, υπέρυθρο και ορατό φως, υπεριώδη ακτινοβολία, ακτίνες X και ακτίνες γάμμα [1].

Παράγονται από επιταχυνόμενα ηλεκτρικά φορτία καθώς και από ηλεκτρόνια ατόμων που χάνουν την ενέργεια τους. Κλασικά, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελείται από ηλεκτρομαγνητικά κύματα, τα οποία είναι συγχρονισμένες ταλαντώσεις σε κάθετα επίπεδα μεταξύ τους και κάθετα προς τη διεύθυνση διάδοσης ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων, που διαδίδονται με την ταχύτητα του φωτός [2]. Οι κύριες πηγές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι οι κεραιές, τα κινητά τηλέφωνα και οι πύργοι [3].

Παράλληλα, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι πολύ επιβλαβής για την ανθρώπινη υγεία καθώς έχει σημαντικές επιδράσεις πάνω σε αυτήν, καθώς επηρεάζει πολλά όργανα του ανθρώπινου οργανισμού με πρωταρχικό, τον εγκέφαλο, και στη συνέχεια τα ανθρώπινα κύτταρα, την ακοή, και την αναπαραγωγική διαδικασία. Είναι αξιοσημείωτο, ότι όσο πιο κοντά σε απόσταση βρίσκεται ένα άτομο σε κάποια πηγή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας τόσο περισσότερες πιθανότητες έχει για εμφάνιση καρκίνου, Alzheimer, νευροεκφυλιστικών παθήσεων, ορμονικών διαταραχών, κατάθλιψης, και πολλών άλλων ασθενειών [4].

Για τον λόγο αυτόν και προκειμένου να προστατευθεί ο πληθυσμός που ζει γύρω από τους σταθμούς βάσης και οι χρήστες κινητών συσκευών, οι κυβερνήσεις και οι ρυθμιστικοί φορείς υιοθετούν πρότυπα ασφαλείας, τα οποία μεταφράζονται σε όρια έκθεσης σε επίπεδα κάτω από μια ορισμένη τιμή [5, 6].

Η ηλεκτρομαγνητική θωράκιση λοιπόν, είναι η πρακτική των γύρω ηλεκτρονικών και των καλωδίων με αγωγίμα ή μαγνητικά υλικά για την προστασία από εισερχόμενες ή εξερχόμενες εκπομπές ηλεκτρομαγνητικών συχνοτήτων. Ο συνηθέστερος σκοπός της είναι να αποφευχθεί η ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή να επηρεάσει τα ευαίσθητα ηλεκτρονικά. Επίσης, για να αυξηθεί η ασφάλεια των συστημάτων με διάκενα αέρος,

συνιστάται η ηλεκτρομαγνητική θωράκιση. Συνήθως τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την ηλεκτρομαγνητική θωράκιση περιλαμβάνουν φύλλο μετάλλου, πλέγμα και μεταλλικό αφρό, ενώ άλλη μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι η επικάλυψη του εσωτερικού του περιβλήματος με μεταλλική μελάνη ή παρόμοιο υλικό [7, 8]. Ταυτόχρονα, αξίζει να σημειωθεί ότι οι σημαντικές πλεκτές δομές που χρησιμοποιούνται ως προϊόντα θωράκισης είναι τα εξής: 1*1 rib- Δίπλακο , Μονόπλακο (Single Jersey), και Interlock.

Εν κατακλείδι, συμπεραίνεται ότι η χρήση υλικών ηλεκτρομαγνητικής θωράκισης είναι χρήσιμη και ιδιαίτερα αποτελεσματική για την προστασία από τις ακτινοβολίες. Με τα σύγχρονα υλικά ηλεκτρομαγνητικής θωράκισης, ελαχιστοποιούνται οι υψηλές συχνότητες ακτινοβολιών, και αποτελούν ένα καλό είδος πρόληψης από ενδεχόμενη ύπαρξη νέων πηγών ακτινοβολιών (π.χ. νέες κεραιές κινητής τηλεφωνίας, modem των γειτόνων κ.ά.) [9, 10].

Στόχος της εργασίας αυτής είναι να προσδιοριστεί η ηλεκτρομαγνητική θωράκιση πλεκτών αγώγιμων υφασμάτων σε σχέση με τις δομές πλέξης. Επίσης, θα γίνει μια προσπάθεια κατασκευής ορισμένων ενδυμάτων για την προστασία του χρήστη.

Κεφάλαιο 1

Η Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία

1.1 Ορισμός

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι μια μορφή ενέργειας που είναι γύρω μας και παίρνει πολλές μορφές, όπως ραδιοκύματα, μικροκύματα, ακτίνες X και ακτίνες γάμμα. Το ηλιακό φως είναι επίσης μια μορφή ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας, αλλά το ορατό φως είναι μόνο ένα μικρό τμήμα του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, το οποίο περιέχει ένα ευρύ φάσμα ηλεκτρομαγνητικών μηκών κύματος [11].

Η ηλεκτρική ενέργεια και ο μαγνητισμός κάποτε θεωρούνταν ξεχωριστές δυνάμεις. Ωστόσο, το 1873, ο σκωτσέζος φυσικός James Clerk Maxwell ανέπτυξε μια ενιαία θεωρία του ηλεκτρομαγνητισμού. Η μελέτη του ηλεκτρομαγνητισμού ασχολείται με το πως αλληλεπιδρούν ηλεκτρικά φορτισμένα σωματίδια μεταξύ τους και με μαγνητικά πεδία [12].

Υπάρχουν τέσσερις κύριες ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις [13]:

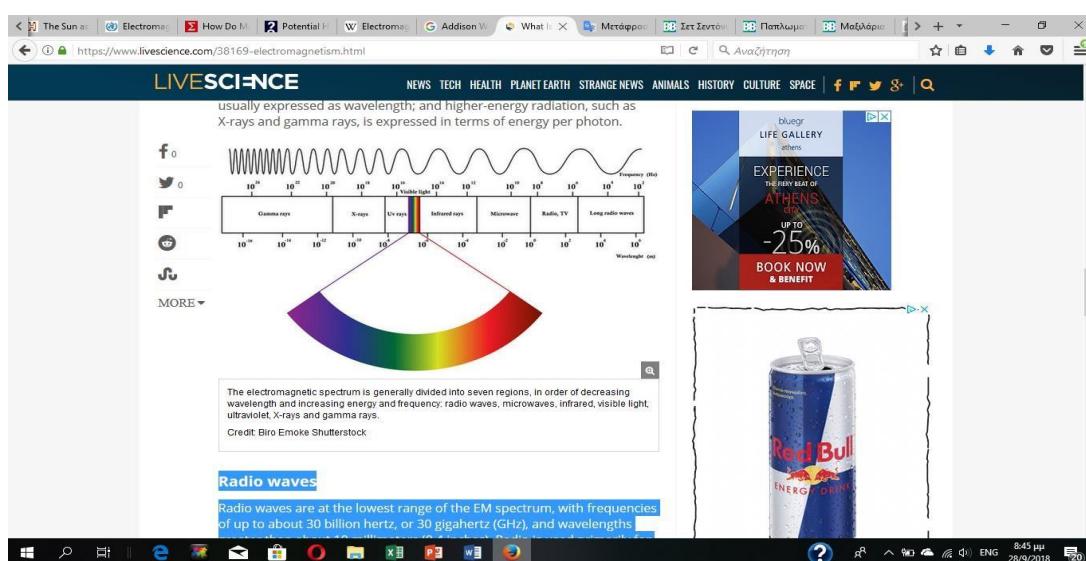
- Η δύναμη έλξης ή απόρριψης μεταξύ των ηλεκτρικών φορτίων είναι αντιστρόφως ανάλογη προς το τετράγωνο της απόστασης μεταξύ τους.
- Οι μαγνητικοί πόλοι έρχονται σε ζεύγη που προσελκύουν και απωθούν ο ένας τον άλλον, όπως κάνουν τα ηλεκτρικά φορτία.
- Ένα ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα σύρμα παράγει ένα μαγνητικό πεδίο, η κατεύθυνση του οποίου εξαρτάται από την κατεύθυνση του ρεύματος.
- Ένα κινούμενο ηλεκτρικό πεδίο παράγει ένα μαγνητικό πεδίο και αντίστροφα.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία δημιουργείται όταν ένα ατομικό σωματίδιο, όπως ένα ηλεκτρόνιο, επιταχύνεται από ένα ηλεκτρικό πεδίο, προκαλώντας την κίνηση του. Η κίνηση παράγει ταλαντευόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, τα οποία κινούνται κάθετα μεταξύ τους σε δέσμη φωτεινής ενέργειας που ονομάζεται φωτόνιο. Τα φωτόνια ταξιδεύουν σε αρμονικά κύματα με την ταχύτερη δυνατή ταχύτητα στο

σύμπαν: 186.282 μίλια ανά δευτερόλεπτο (299.792.458 μέτρα ανά δευτερόλεπτο) σε κενό, γνωστό και ως ταχύτητα φωτός. Τα κύματα έχουν ορισμένα χαρακτηριστικά, δεδομένης της συχνότητας, του μήκους κύματος ή της ενέργειας [14].

Ένα μήκος κύματος είναι η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών ενός κύματος. Η απόσταση αυτή δίδεται σε μέτρα (m) ή σε κλάσματα αυτών. Η συχνότητα είναι ο αριθμός των κυμάτων που σχηματίζονται σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα. Συνήθως μετριέται ως ο αριθμός κύκλων ανά δευτερόλεπτο ή αλλιώς hertz (Hz). Ένα σύντομο μήκος κύματος σημαίνει ότι η συχνότητα θα είναι υψηλότερη επειδή ένας κύκλος μπορεί να περάσει σε μικρότερο χρονικό διάστημα. Ομοίως, ένα μεγαλύτερο μήκος κύματος έχει χαμηλότερη συχνότητα, διότι κάθε κύκλος διαρκεί περισσότερο [15].

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία εκτείνεται σε ένα τεράστιο εύρος μηκών κύματος και συχνοτήτων. Αυτή η περιοχή είναι γνωστή ως ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Το φάσμα αυτό διαιρείται γενικά σε επτά περιοχές, με τη σειρά της μείωσης του μήκους κύματος και της αύξησης της ενέργειας και της συχνότητας. Οι κοινές ονομασίες είναι: ραδιοκύματα, μικροκύματα, υπέρυθρο (IR), ορατό φως, υπεριώδες (UV), ακτίνες X και ακτίνες γάμμα. Ακόμη, η ακτινοβολία χαμηλής ενέργειας, όπως τα ραδιοκύματα, εκφράζεται ως συχνότητα. Τα μικροκύματα, το υπέρυθρο, το ορατό και το υπεριώδες φως εκφράζονται συνήθως ως μήκος κύματος, και η ακτινοβολία υψηλότερης ενέργειας, όπως οι ακτίνες X και οι ακτίνες γάμμα, εκφράζονται σε όρους ενέργειας ανά φωτόνιο [11].



Εικόνα 1. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα [16]

Τα ραδιοκύματα βρίσκονται στο χαμηλότερο εύρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, με συχνότητες μέχρι περίπου 30 δισεκατομμύρια hertz ή 30 gigahertz (GHz) και μήκος κύματος μεγαλύτερο από περίπου 10 mm [16].

Τα μικροκύματα εμπίπτουν στην περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος μεταξύ ραδιοκυμάτων και υπέρυθρου φωτός. Έχουν συχνότητες από περίπου 3 GHz έως περίπου 30 τρισεκατομμύρια hertz ή 30 terahertz (THz), και μήκη κύματος περίπου 10 mm έως 100 μικρόμετρα (μm). Τα μικροκύματα χρησιμοποιούνται για επικοινωνίες μεγάλου εύρους ζώνης, ραντάρ και ως πηγή θερμότητας για φούρνους μικροκυμάτων και διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές [11].

Η υπέρυθη ακτινοβολία βρίσκεται στην περιοχή του φάσματος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μεταξύ των μικροκυμάτων και του ορατού φωτός. Το IR έχει συχνότητες από περίπου 30 THz έως περίπου 400 THz και μήκη κύματος περίπου 100 μm έως 740 νανόμετρα (nm). Το φως IR είναι αόρατο στα ανθρώπινα μάτια, αλλά μπορούμε να το νιώσουμε σαν θερμότητα εάν η ένταση είναι επαρκής [11].

Το ορατό φως βρίσκεται στο μέσο του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, μεταξύ IR και UV. Έχει συχνότητες περίπου 400 THz έως 800 THz και μήκη κύματος περίπου 740 nm έως 380 nm. Γενικότερα, ορατό φως ορίζεται ως τα μήκη κύματος που είναι ορατά στα περισσότερα ανθρώπινα μάτια [16].

Το υπεριώδες φως βρίσκεται στην περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος μεταξύ ορατού φωτός και ακτίνων X. Έχει συχνότητες περίπου 8×10^{14} έως 3×10^{16} Hz, και μήκη κύματος περίπου 380 nm έως περίπου 10 nm. Το φως UV είναι ένα συστατικό του ηλιακού φωτός. Ωστόσο, είναι αόρατο στο ανθρώπινο μάτι [16].

Οι ακτίνες X ταξινομούνται κατά προσέγγιση σε δύο τύπους: μαλακές και σκληρές ακτίνες X. Οι μαλακές ακτίνες X περιλαμβάνουν την περιοχή του φάσματος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μεταξύ ακτινοβολίας UV και ακτίνων γάμμα. Οι μαλακές ακτίνες X έχουν συχνότητες περίπου 3×10^{16} έως περίπου 3×10^{18} Hz, και μήκη κύματος από περίπου 10 nm έως περίπου 100 nm. Οι σκληρές ακτίνες X καταλαμβάνουν την ίδια περιοχή του φάσματος ως ακτίνες γάμμα. Η μόνη διαφορά μεταξύ τους είναι η πηγή τους: Οι ακτίνες X παράγονται με επιτάχυνση των ηλεκτρονίων, ενώ οι ακτίνες γάμμα παράγονται από τους ατομικούς πυρήνες [17].

Οι ακτίνες γάμμα είναι στην περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος πάνω από μαλακές ακτίνες Χ. Οι ακτίνες γάμμα έχουν συχνότητες μεγαλύτερες από περίπου 10^{18} Hz, και μήκη κύματος μικρότερα από 100 μm. Η ακτινοβολία γάμμα προκαλεί βλάβη στο ζωντανό ιστό, γεγονός που το καθιστά χρήσιμο για τη θανάτωση των καρκινικών κυττάρων, όταν εφαρμόζεται σε προσεκτικά μετρημένες δόσεις σε μικρές περιοχές. Η ανεξέλεγκτη έκθεση, ωστόσο, είναι εξαιρετικά επικίνδυνη για τον άνθρωπο [17].

Παράλληλα, η συμπεριφορά της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας εξαρτάται από τη συχνότητά της. Οι χαμηλότερες συχνότητες έχουν μεγαλύτερα μήκη κύματος και οι υψηλότερες συχνότητες έχουν μικρότερα μήκη κύματος και συνδέονται με φωτόνια υψηλότερης ενέργειας. Δεν υπάρχει κανένα θεμελιώδες όριο που να είναι γνωστό σε αυτά τα μήκη κύματος ή στις ενέργειες, σε κάθε άκρο του φάσματος, αν και τα φωτόνια με ενέργεια κοντά στην ενέργεια Planck ή υπερβαίνουσα (πολύ μεγάλη για να παρατηρηθεί ποτέ) απαιτούν νέες φυσικές θεωρίες [18].

Τα ηχητικά κύματα δεν είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Στο κάτω άκρο του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, περίπου 20 Hz έως περίπου 20 kHz, είναι συχνότητες που θα μπορούσαν να ληφθούν υπόψη στην ακουστική κλίμακα. Ωστόσο, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα δεν μπορούν να γίνουν αντιληπτά άμεσα από τα ανθρώπινα αυτιά. Τα ηχητικά κύματα είναι αντ' αυτού η ταλαντούμενη συμπίεση των μορίων. Για να ακουστεί, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία πρέπει να μετατραπεί σε κύματα πίεσης του υγρού στο οποίο βρίσκεται το αυτί (είτε το υγρό είναι αέρας, νερό ή κάτι άλλο) [18].

Όσον αφορά τη δημιουργία της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τα κινητά τηλέφωνα, όταν μιλάμε σε ένα κινητό τηλέφωνο, ένας πομπός παίρνει τον ήχο της φωνής μας και τον κωδικοποιεί σε ένα συνεχές ημιτονοειδές κύμα. Ένα ημιτονοειδές κύμα είναι απλώς ένας τύπος συνεχώς μεταβαλλόμενου κύματος που εκπέμπει από την κεραία και κυμαίνεται ομοιόμορφα στο διάστημα. Τα ημιτονοειδή κύματα μετρούνται ως προς τη συχνότητα, δηλαδή τον αριθμό των φορών που το κύμα ταλαντώνεται προς τα πάνω και προς τα κάτω ανά δευτερόλεπτο. Μόλις τοποθετηθεί ο κωδικοποιημένος ήχος στο ημιτονοειδές κύμα, ο πομπός στέλνει το σήμα στην κεραία, η οποία στη συνέχεια στέλνει το σήμα έξω [19].

Τα κινητά τηλέφωνα διαθέτουν πομπούς χαμηλής κατανάλωσης. Τα περισσότερα τηλέφωνα αυτοκινήτων έχουν ισχύ εκπομπής 3 watt. Ένα φορητό κινητό τηλέφωνο λειτουργεί με ισχύ περίπου 0,75 έως 1 watt. Η θέση ενός πομπού μέσα σε ένα τηλέφωνο ποικίλλει ανάλογα με τον κατασκευαστή, αλλά είναι συνήθως πολύ κοντά στην κεραία του τηλεφώνου. Τα ραδιοκύματα που στέλνουν το κωδικοποιημένο σήμα αποτελούνται από ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που διαδίδεται από την κεραία. Η λειτουργία μιας κεραίας σε οποιονδήποτε πομπό ραδιοσυχνοτήτων είναι να εκκινήσει τα ραδιοκύματα στο διάστημα. Στην περίπτωση των κινητών τηλεφώνων, τα κύματα αυτά συλλαμβάνονται από έναν δέκτη στον πύργο του κινητού τηλεφώνου [20].

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελείται από κύματα ηλεκτρικής και μαγνητικής ενέργειας που κινούνται με ταχύτητα φωτός, σύμφωνα με την Federal Communications Commission (FCC). Όλη η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια πέφτει κάπου στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, το οποίο κυμαίνεται από την ακτινοβολία εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας έως τις ακτίνες X και τις ακτίνες γάμμα [20].

Το κινητό τηλέφωνο διαθέτει τμήματα πομπού και δέκτη. Όταν το κινητό τηλέφωνο είναι ενεργοποιημένο, εκπέμπει ραδιοκύματα που αποτελούνται από ενέργεια ραδιοσυχνοτήτων, μια μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που κινείται με την ταχύτητα του φωτός. Λειτουργεί με τη μετάδοση σημάτων ραδιοφωνικών κυμάτων (και λήψη αυτών) από κοντινούς σταθμούς βάσης [20].

Κάθε κεραία, είτε σε κινητό τηλέφωνο είτε σε πύργο, εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Τα ραδιοκύματα είναι τα ισχυρότερα κοντά στην κεραία του κινητού τηλεφώνου, αλλά γίνονται όλο και πιο αδύναμα καθώς απομακρυνόμαστε από το τηλέφωνο. Ομοίως, τα ραδιοκύματα είναι τα ισχυρότερα στην κεραία του σταθμού βάσης. Η στάθμη ακτινοβολούμενης ισχύος κοντά σε έναν πύργο είναι υψηλή, αλλά μειώνεται καθώς απομακρυνόμαστε από αυτόν. Συνήθως, ένας σταθμός βάσης μπορεί να έχει αρκετές κεραίες τοποθετημένες σε έναν πύργο. Ο πύργος ή ο ίδιος ο ιστός δεν εκπέμπει ενέργεια, αλλά εκπέμπεται από κεραίες που είναι τοποθετημένες πάνω σε αυτό [11].

Όσον αφορά τον Ήλιο ως πηγή ακτίνων X, ο Ήλιος έχει θερμοκρασία επιφάνειας περίπου 6.000 Kelvin, ή περίπου 10.000 βαθμούς F. Η ηλιακή επιφάνεια εκπέμπει το μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας της ως ορατό φως ή το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που βλέπουμε με τα μάτια μας. Οι ακτίνες X που

ανιχνεύουμε από τον Ήλιο δεν προέρχονται από την επιφάνεια του Ήλιου, αλλά από την ηλιακή κορώνα, η οποία είναι το ανώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας του Ήλιου. Μόνο τα αέρια με πολύ μεγάλη θερμοκρασία μπορούν να εκπέμπουν ακτίνες X σε εκατομμύρια βαθμούς, ώστε να εκπέμπουν ακτίνες X [21].

Καθώς ο κύκλος ηλιακής δραστηριότητας εξελίσσεται από το μέγιστο στο ελάχιστο, το μαγνητικό πεδίο του Ήλιου μεταβάλλεται από μια σύνθετη δομή σε μια απλούστερη διαμόρφωση με λιγότερα πεδία. Δεδομένου ότι τα θερμά αέρια του Ήλιου ελέγχονται από αυτά τα πεδία, οι ακτίνες X αντανακλούν αυτήν την παγκόσμια αλλαγή, με συνολική μείωση της φωτεινότητας κατά 100. Υπάρχουν δύο τρόποι με τους οποίους η κορώνα μπορεί να θερμανθεί μέσω μαγνητικών αλληλεπιδράσεων. Ένας τρόπος θέρμανσης οφείλεται στην επανασύνδεση των στεφανιαίων βρόχων και στην αποκοπή τους. Ένας δεύτερος τρόπος είναι μέσω των κυμάτων που ξεκινούν κάτω από την επιφάνεια του Ήλιου να αναβλύζουν και να παρέχουν μαγνητική ενέργεια στην κορώνα [22].

Καθώς η μέση απόσταση μεταξύ της Γης και του Ήλιου πάνω από μια τροχιά της Γης είναι περίπου 150.000.000.000 μέτρα, θα χρειαστούν περίπου 8 λεπτά για την ακτινοβολία από τον Ήλιο για να φτάσει στη Γη. Στην πραγματικότητα, ο Ήλιος δεν παράγει μόνο IR, ορατό φως και UV. Η σύντηξη στον πυρήνα εκπέμπει πραγματικά ακτίνες γάμμα υψηλής ενέργειας. Ωστόσο, καθώς τα φωτόνια ακτίνων γάμμα κάνουν το δύσκολο ταξίδι τους στην επιφάνεια του Ήλιου, απορροφώνται συνεχώς από το ηλιακό πλάσμα και εκπέμπονται εκ νέου σε χαμηλότερες συχνότητες. Μέχρι να φτάσουν στην επιφάνεια, οι συχνότητές τους είναι ως επί το πλείστον μόνο εντός του φάσματος IR / ορατού φωτός / UV [21].

Κατά τη διάρκεια ηλιακών φωτοβολίδων, ο ήλιος εκπέμπει επίσης ακτίνες X. Η ακτινοβολία ακτίνων X από τον Ήλιο παρατηρήθηκε για πρώτη φορά από τον T. Burnight κατά τη διάρκεια πτήσης με πυραύλους V-2. Αυτό επιβεβαιώθηκε αργότερα από τον Yoshiko της Ιαπωνίας, έναν δορυφόρο που ξεκίνησε το 1991. Όταν η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από τον Ήλιο χτυπά στην ατμόσφαιρα της Γης, κάποια από αυτά απορροφούνται ενώ τα υπόλοιπα προχωρούν στην επιφάνεια της Γης. Συγκεκριμένα, η υπεριώδης ακτινοβολία απορροφάται από τη στιβάδα του όζοντος και εκπέμπεται εκ νέου ως θερμότητα, τελικά θερμαίνοντας τη στρατόσφαιρα. Μερικές από αυτές τις θερμότητες εκπέμπονται εκ νέου στον εξωτερικό χώρο, ενώ κάποιοι

αποστέλλονται στην επιφάνεια της Γης. Εν τω μεταξύ, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που δεν απορροφάται από την ατμόσφαιρα προχωρεί στην επιφάνεια της Γης και τη θερμαίνει. Κάποια από αυτήν τη θερμότητα παραμένει εκεί ενώ τα υπόλοιπα εκπέμπονται εκ νέου. Μόλις φθάσει στην ατμόσφαιρα, μέρος της απορροφάται και ένα άλλο μέρος της περνάει. Η παρουσία αερίων θερμοκηπίου καθιστά την ατμόσφαιρα ικανή να απορροφήσει περισσότερη θερμότητα, μειώνοντας το κλάσμα των εξερχόμενων ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που περνούν [21].

Όσον αφορά τη δημιουργία ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τις κεραίες, τα ραδιοσήματα είναι μια μορφή ηλεκτρομαγνητικού κύματος και, καθώς είναι ο τρόπος με τον οποίο ταξιδεύουν τα ραδιοσήματα, έχουν σημαντικό αντίκτυπο στις ίδιες τις κεραίες RF και στο σχεδιασμό της κεραίας RF. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι ο ίδιος τύπος ακτινοβολίας με τις ακτίνες φωτός, υπεριώδους και υπέρυθρης ακτινοβολίας, που διαφέρουν από το μήκος κύματος και τη συχνότητά τους. Επίσης, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα έχουν τόσο ηλεκτρικά όσο και μαγνητικά στοιχεία που είναι αδιαχώριστα. Τα επίπεδα αυτών των πεδίων είναι σε ορθή γωνία μεταξύ τους και προς την κατεύθυνση κίνησης του κύματος. Το ηλεκτρικό πεδίο προκύπτει από τις μεταβολές τάσης που συμβαίνουν στην κεραία RF που ακτινοβολεί το σήμα και οι μαγνητικές αλλαγές προκύπτουν από τη ροή ρεύματος. Παράλληλα, οι γραμμές δύναμης στο ηλεκτρικό πεδίο τρέχουν κατά μήκος του ίδιου άξονα με την κεραία RF, αλλά εξαπλώνονται καθώς απομακρύνονται από αυτήν. Αυτό το ηλεκτρικό πεδίο μετρίεται σε όρους μεταβολής του δυναμικού σε μια δεδομένη απόσταση, π.χ. volt ανά μέτρο, και αυτό είναι γνωστό ως ισχύς πεδίου. Ομοίως, όταν μια κεραία RF λαμβάνει ένα σήμα, οι μαγνητικές αλλαγές προκαλούν ροή ρεύματος και οι αλλαγές ηλεκτρικού πεδίου προκαλούν αλλαγές στην τάση στην κεραία [23].

Είναι επίσης ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι κοντά στην κεραία RF υπάρχει επίσης ένα επαγωγικό πεδίο το ίδιο με αυτό σε έναν μετασχηματιστή. Αυτό δεν αποτελεί μέρος του ηλεκτρομαγνητικού κύματος, αλλά μπορεί να παραμορφώσει τις μετρήσεις κοντά στην κεραία. Μπορεί επίσης να σημαίνει ότι οι κεραίες μετάδοσης είναι πιο πιθανό να προκαλέσουν παρεμβολές όταν είναι κοντά σε άλλες κεραίες ή καλωδιώσεις που μπορεί να έχουν το σήμα που προκαλείται σε αυτό [11, 23].

1.2 Η επίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στον άνθρωπο

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ανθρώπινη υγεία. Υπάρχει δραστηριότητα που ρέει μέσα από το σώμα μας, που παίζει ζωτικό ρόλο στις λειτουργίες μας, όπως η ανάπτυξη, ο μεταβολισμός, η κίνηση και η σκέψη. Η έκθεση στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μπορεί να διαταράξει αυτή τη ροή καθώς και τη λειτουργία των οργάνων μας - ειδικά του εγκεφάλου. Μπορεί επίσης να οδηγήσει στην ανάπτυξη σοβαρών προβλημάτων υγείας [24].

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μπορεί να ταξινομηθεί σε δύο τύπους: ιονίζουσα ακτινοβολία και μη ιονίζουσα ακτινοβολία, με βάση την ικανότητα ενός μόνο φωτονίου με ενέργεια άνω των 10 eV να ιονίζει το οξυγόνο ή να διασπά τους χημικούς δεσμούς. Οι υπεριώδεις ακτινοβολίες και οι υψηλότερες συχνότητες, όπως οι ακτίνες X ή οι ακτίνες γάμμα είναι ιονίζουσες, και αυτοί θέτουν τους δικούς τους ειδικούς κινδύνους. Ο μεγαλύτερος κίνδυνος για την υγεία από την ακτινοβολία είναι η ηλιακή κάψα, η οποία προκαλεί πάνω από ένα εκατομμύριο νέους καρκίνους του δέρματος ετησίως [25].

Όταν πρόκειται για την ποιότητα ζωής, οι ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες, τόσο ιονίζουσες όσο και μη ιοντικές, μπορούν να προβληθούν από δύο πλευρές. Ο πρώτος είναι ο αντίκτυπός τους στην ανάπτυξη της ανθρώπινης κοινωνίας και ο άλλος είναι ο αντίκτυπός τους στην ανθρώπινη υγεία. Ο σημερινός πολιτισμός χρησιμοποιεί ευρέως ηλεκτρομαγνητικά κύματα και πεδία σε μια ποικιλία τεχνολογιών. Έτσι, οι επικοινωνίες, το ραδιόφωνο και η τηλεόραση, η ηλεκτρική ενέργεια, οι μεταφορές, η ιατρική, οι υπολογιστές βασίζονται σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η πρόοδος αυτή επέτρεψε την υψηλή ποιότητα ζωής στους ανθρώπους, κάτι που ήταν αδιανόητο μόνο πριν από έναν αιώνα. Από την άλλη πλευρά, η αρνητική επίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι ότι σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να προκαλέσει προβλήματα υγείας στους ανθρώπους (σημασία έχουν τα εξής: περιοχή ακτινοβολίας, ακτινοβολία, συχνότητα κυμάτων, ιονισμός). Επιπλέον, η ιονίζουσα ακτινοβολία είναι πολύ πιο επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία από μη ιονίζουσα [25].

Οι επιδημιολογικές μελέτες και οι πειραματικές έρευνες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία και τα κύματα (τα οποία υπάρχουν παντού γύρω μας

και των οποίων η ένταση αυξάνεται πέρα από το όριο στις καθημερινές βάσεις) αποτελούν σταθερή απειλή στην υγεία μας ακόμη και όταν βρίσκονται εντός των επιτρεπόμενων ορίων. Οι εμπειρογνώμονες προειδοποιούν εδώ και χρόνια ότι τα πρώτα συμπτώματα της νόσου που προκαλούνται από τις βλαβερές συνέπειες της ακτινοβολίας είναι αυξημένη ευερεθιστότητα και νευρικότητα, αϋπνία, πονοκεφάλους, αισθήματα κόπωσης και χρόνιας κόπωσης, άγχος, τάση προς κατάθλιψη, δυσκολίες στη μνήμη και προβλήματα συγκέντρωσης, απώλεια ζωτικότητας, μείωση φυσικών και πνευματικών δραστηριοτήτων κ.λπ. [26]. Οι σημερινές δοκιμές δείχνουν σαφώς ότι η κοινή επίδραση των γεωπαθητικών πεδίων με βλαβερή επίδραση και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μπορεί να οδηγήσει σε εξασθένηση του σώματος. Δεν υπάρχει χώρος όπου ο άνθρωπος εργάζεται, ή κοιμάται χωρίς επιβλαβή ακτινοβολία. Η μακροχρόνια έκθεση σε πολύπλοκη επιρροή της βλαβερής ακτινοβολίας διαταράσσει την ενεργειακή δομή των βιολογικών συστημάτων και αυτό αντικατοπτρίζεται από την εμφάνιση διαφόρων νόσων, τόσο ψυχοσωματικών όσο και σωματικών, μία φορά. Η μακροπρόθεσμη επιρροή της βλαβερής ακτινοβολίας στα ασθενέστερα άτομα οδηγεί στις πιο επιβλαβείς ασθένειες, ακόμη και στο θάνατο. Τα πιο επικίνδυνα μέρη είναι το υπνοδωμάτιο και ο χώρος εργασίας, όπου ο άνθρωπος ξοδεύει το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου του. Ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Φυσικά, το πιο σημαντικό είναι η ισχύς της πηγής ακτινοβολίας, αλλά η συχνότητα ακτινοβολίας έχει επίσης σημαντική επίδραση [27]. Λαμβάνοντας υπόψη την ένταση απορρόφησης στο ανθρώπινο σώμα, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μπορεί να χωριστεί σε τέσσερις ομάδες: συχνότητες από 100 kHz έως 20 MHz, όπου η απορρόφηση μειώνεται με τη μείωση της συχνότητας και σημαντική απορρόφηση εμφανίζεται στο λαιμό και στα πόδια, συχνότητες στην περιοχή από 20 MHz έως 300 MHz, όπου η σχετικά υψηλή απορρόφηση εμφανίζεται σε ολόκληρο το σώμα και σε συντονισμό σημαντικά υψηλότερη στην περιοχή της κεφαλής, συχνότητες στην περιοχή από 300 MHz έως αρκετά 9 GHz, και συχνότητες άνω των 10 GHz, όπου η απορρόφηση γίνεται κυρίως στην επιφάνεια του σώματος [28].

Η πρωτογενής και η απλούστερη βλάβη της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι η θέρμανση. Η έκθεση σε ακτινοβολία ραδιοσυχνοτήτων που υπερβαίνει τα $10 \text{ mW} / \text{cm}^2$ μπορεί να προκαλέσει σοβαρή βλάβη στον ανθρώπινο ιστό λόγω υπερθέρμανσης. Σε ορισμένες συνθήκες, ακόμη και η ακτινοβολία μεταξύ 1 και $10 \text{ mW} / \text{cm}^2$ μπορεί να

περάσει μια μετρήσιμη θέρμανση του ιστού, αλλά αυτό δεν προκαλεί απαραίτητως βλάβη στον ιστό. Ένας πολύ μεγάλος και ποικίλος αριθμός πηγών μη ιοντίζουσας ακτινοβολίας στο περιβάλλον μας προκάλεσε την υιοθέτηση αντίστοιχων κανονισμών. Υπάρχουν πάνω από 130 νόμοι, κανονισμοί, πρότυπα και συστάσεις στον τομέα της ακτινοβολίας ραδιοσυχνοτήτων στις ευρωπαϊκές χώρες [26].

Ορισμένες μελέτες έχουν συνδέσει την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μια σειρά από βιολογικές και υγειονομικές συνθήκες, όπως: υψηλή αρτηριακή πίεση στους ανθρώπους, σοβαρή κατάθλιψη, ανοσολογικά και ενδοκρινολογικά προβλήματα, αύξηση της διαπερατότητας του αιματοεγκεφαλικού φραγμού, εκροή ασβεστίου από εγκεφαλικό ιστό, επιπτώσεις στο σύστημα ντοπαμίνης [25].

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας έχει κατατάξει τις εκπομπές ραδιοσυχνοτήτων (RF) ως καρκινογόνες της κατηγορίας 2B, η οποία είναι μια κατηγορία που μοιράζεται ο μόλυβδος και τα φυτοφάρμακα. Ορισμένες μελέτες δείχνουν επίσης ότι η έκθεση σε μη ιονίζουσα ακτινοβολία μπορεί να οδηγήσει σε πονοκεφάλους, κόπωση, αλλεργίες, παθήσεις του δέρματος, νόσο του Alzheimer, νόσο του Parkinson και πολλά άλλα [27].

Ο Mortazani και η ομάδα ερευνητών του [29], βρήκαν την ηλεκτρο-υπερευαισθησία (EHS) από ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η ηλεκτρο-υπερευαισθησία (EHS) είναι οι διαταραγμένες φυσιολογικές διεργασίες που συνδέονται με το σταθερό μαγνητικό πεδίο που παράγεται συνήθως από κινητά τηλέφωνα και άλλες ασύρματες συσκευές [29, 30].

Τα κινητά τηλέφωνα χρησιμοποιούνται κοντά στον ιστό του εγκεφάλου. Ως εκ τούτου, ο εγκεφαλικός ιστός επηρεάζεται κυρίως από το ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Πολλές μελέτες δείχνουν ότι το ανθρώπινο αισθητήριο σύστημα και η ανθρώπινη συμπεριφορά επηρεάζονται στενά από τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ραδιοσυχνοτήτων που προέρχονται από τους σταθμούς βάσης (BTS) [30]. Σύμφωνα με τον Sauter και τους συνεργάτες του [31], το ηλεκτρομαγνητικό κύμα που απελευθερώνεται από τα κινητά τηλέφωνα επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τις λειτουργίες του σώματος. Ο ερευνητής εξέτασε 30 αρσενικά άτομα για εννέα ημέρες κάτω από τρία διαφορετικά ηλεκτρομαγνητικά κύματα σε GSM 900 και WCDMA. Όλες αυτές οι εξετάσεις έγιναν σύμφωνα με τον καθορισμένο χρόνο και δύο φορές την ημέρα. Τα αποτελέσματα

έδειξαν ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία επηρεάζει αρνητικά και σε μεγάλο βαθμό την επιλεκτική προσοχή, την μνήμη, καθώς και τον ύπνο [31].

Μελέτες δείχνουν επίσης ότι κάποιες φορές χαμηλά ηλεκτρομαγνητικά πεδία είναι πλεονεκτικά για ιστούς συνδέσμων [32, 33]. Ο πολλαπλασιασμός και η ανοργανοποίηση επηρεάζονται όταν τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία συναντούν τα κύτταρα των οστεοβλαστών, σύμφωνα με τα ευρήματα του Lin [34]. Παράλληλα, έχει διαπιστωθεί ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μπορεί να επηρεάσει τη σπερματογένεση οδηγώντας σε μαζική απώλεια [35]. Τα πεδία υψηλής συχνότητας μπορεί ακόμη να προκαλέσουν λεμφική και αιματοποιητική νόσο, η οποία αργότερα μπορεί να μετατραπεί σε καρκίνο [36].

Ο τρόπος με τον οποίο τα ιονίζοντα φωτόνια προκαλούν καρκίνο είναι ο ακόλουθος. Το DNA είναι ένα σκέλος διπλής έλικας που ελέγχει πως τα κύτταρα παράγουν πρωτεΐνες, και συγκρατείται από χημικούς δεσμούς, όπως όλα τα άλλα μόρια. Τα φωτόνια υψηλής ενέργειας μπορούν να χτυπήσουν ηλεκτρόνια από τις τροχιές τους, ή μερικές φορές να αλληλεπιδράσουν με τον πυρήνα ενός ατόμου. Για να γίνει αυτό, η συχνότητα της ακτινοβολίας πρέπει να είναι αρκετά υψηλή. Μπορεί τότε να βλάψει το DNA. Εάν η συχνότητα δεν είναι αρκετά υψηλή (τα κινητά τηλέφωνα και τα ραδιοκύματα δεν είναι), τότε, η ακτινοβολία δεν μπορεί να προκαλέσει ιονισμό ανεξάρτητα από το πόση ποσότητα της ακτινοβολίας υπάρχει. Ακόμη και όταν απορροφάται, είναι σπάνια καρκινικό. Τις περισσότερες φορές, εξαιτίας της δομής διπλής έλικας και διάφορων κυτταρικών μηχανισμών παρακολούθησης του DNA, η βλάβη επισκευάζεται. Είναι πολύ απίθανο τα φωτόνια να προσβάλλουν το DNA σε ένα κύτταρο (ένα κύτταρο είναι πολύ μεγάλο σε σύγκριση με το μέγεθος του DNA στον πυρήνα). Είναι επίσης σπάνιο όταν ένα φωτόνιο χτυπά το DNA προκαλεί βλάβη διαρκείας [37, 38].

Η ιονίζουσα ακτινοβολία μπορεί να είναι επικίνδυνη λόγω της περιστασιακής πιθανότητας μοριακής βλάβης στα κύτταρα. Κάποιες άλλες (κατώτερες) συχνότητες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος είναι επικίνδυνες όχι επειδή χτυπούν τα ηλεκτρόνια από την τροχιά, αλλά επειδή απορροφώνται από τα υγρά και προκαλούν θέρμανση. Η θερμοκρασία που απαιτείται για να βλάψει τους ανθρώπους είναι γενικά υψηλή, επειδή στο ανθρώπινο σώμα, τα υγρά είναι γενικά γεμάτα από μακρά και βαριά βιολογικά μόρια που αυξάνουν τη θερμική ικανότητα των υγρών [39].

Όσον αφορά τις επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στον ανθρώπινο εγκέφαλο, ο Bawin και οι συνεργάτες του [40] ανέφεραν ότι η έκθεση σε πεδία 147 MHz σε πολύ χαμηλές εντάσεις αύξησε την εκροή ιόντων ασβεστίου μόνο όταν το πεδίο διαμορφώθηκε σε πλάτος στα 16Hz. Το συνεχές κύμα σε συχνότητα φορέα RF μόνο δεν είχε προφανές αποτέλεσμα. Ο Blackman και οι συνεργάτες του [41, 42] επιβεβαίωσαν το ίδιο φαινόμενο. Διαπίστωσαν ότι το αποτέλεσμα ήταν μέγιστο στα 16Hz, και οι συχνότητες υψηλότερης και χαμηλότερης διαμόρφωσης ήταν λιγότερο αποτελεσματικές. Αυτό το φαινόμενο ονομάστηκε μάλιστα "φαινόμενο παράθυρου". Δεδομένου ότι τα ιόντα ασβεστίου στα κύτταρα παίζουν σημαντικό ρόλο στη μεταγωγή σήματος που σχετίζεται με τη ρύθμιση διαφόρων κυτταρικών λειτουργιών, συμπεριλαμβανομένου του κυτταρικού πολλαπλασιασμού, αυτό το φαινόμενο είναι πολύ ενδιαφέρον. Ο Adey [43] πρότεινε ότι οι μεταβολές στην εκροή ασβεστίου μπορεί να οφείλονται σε μια διαδικασία ενίσχυσης στην οποία αδύναμα ηλεκτρικά πεδία μπορεί να δημιουργηθούν στον ιστό και θα μπορούσαν να "προκαλέσουν" μια σειρά γεγονότων βιολογικής σημασίας. Πρότεινε ότι πολύ αδύναμα πεδία θα μπορούσαν να αλληλεπιδράσουν με αυτό το μονοπάτι, με αποτέλεσμα σημαντικά βιολογικά γεγονότα. Ωστόσο, δεν υπάρχει προφανής θεωρητική βάση και σταθερά πειραματικά στοιχεία που να υποστηρίζουν τέτοια αποτελέσματα.

Ο Preece και οι συνεργάτες του [44] ανέφεραν τα αποτελέσματα ενός προσομοιωμένου σήματος κινητού τηλεφώνου στις γνωστικές λειτουργίες. Χρησιμοποίησαν 36 εθελοντές και εξέτασαν 15 μέτρα ανθρώπινων γνωστικών λειτουργιών, συμπεριλαμβανομένου του απλού και του χρόνου αντίδρασης επιλογής, καθώς και των δοκιμών βραχυπρόθεσμης και μακροχρόνιας μνήμης. Μεταξύ αυτών των μέτρων βρήκαν μια μικρή αλλά στατιστικά σημαντική μείωση του χρόνου αντίδρασης επιλογής στη διάκριση των λέξεων "ναι" και "όχι" όταν τα υποκείμενα εκτέθηκαν σε προσομοιωμένο σήμα RF αναλογικών τηλεφώνων. Δεν παρατηρήθηκε καμία αλλαγή όταν εκτίθεται σε RF ενός σήματος ψηφιακού τηλεφώνου. Στη συνέχεια, ο Koivisto και οι συνεργάτες του [45,46] ανέφεραν παρόμοια αποτελέσματα βραχύτερων χρόνων αντίδρασης μετά την έκθεση στο σήμα RF της ψηφιακής διαμόρφωσης GSM. Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι η έκθεση σε RF-EMF από κινητά τηλέφωνα θα μπορούσε να επηρεάσει τις ανθρώπινες νοητικές λειτουργίες και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι όσον αφορά τις συμπεριφορικές συνέπειες των πεδίων ραδιοσυχνοτήτων στους

ανθρώπους, όλα τα διαθέσιμα στοιχεία δείχνουν προς την ίδια κατεύθυνση: τα πεδία RF διευκολύνουν παρά να διαταράσσουν την απόδοση [45, 46].

Η ενέργεια των φωτονίων του RF-EMF είναι πολύ μικρότερη από την ελάχιστη ενέργεια ιοντισμού ενός μορίου, που αντιστοιχεί στην ενέργεια των φωτονίων στην υπεριώδη περιοχή. Ως εκ τούτου, δεν είναι πιθανό το RF-EMF να βλάψει το DNA με παρόμοιο τρόπο με την ιονίζουσα ακτινοβολία όπως ακτίνες X ή ακτίνες γάμμα. Ωστόσο, η γονιδιοτοξικότητα αποτελεί θέμα μεγάλης ανησυχίας εδώ και χρόνια [47]. Μολαταύτα, τρεις μελέτες σε τρωκτικά έχουν δείξει ότι τα πεδία RF σε χαμηλότερες εντάσεις μπορεί να επηρεάσουν άμεσα το DNA. Ο Sarker και οι συνεργάτες του [48] ανέφεραν ότι παρατηρήθηκε δομική αναδιάταξη μεγάλης κλίμακας στα κύτταρα των εγκεφάλων των ποντικών που εκτέθηκαν σε μικροκύματα 2,45 GHz. Οι Lai και Singh [49, 50] πρότειναν αύξηση των θραυσμάτων κλώνων DNA κυττάρων σε εγκεφάλους αρουραίων μετά από έκθεση σε μικροκύματα 2,45 GHz.

Υπάρχει μία θετική αναφορά που υποδηλώνει καρκινογόνο δυνατότητα έκθεσης από ψηφιακά κινητά τηλέφωνα. Τα ποντίκια E-Pim1, τα οποία είναι γενετικά τροποποιημένα ώστε να είναι ευαίσθητα στην ανάπτυξη λεμφοβλαστικών λεμφωμάτων, εκτέθηκαν σε δόση για μία ώρα την ημέρα για δεκαοκτώ μήνες σε ακτινοβολία RF 900MHz με προσομοίωση παλμού που προσομοιώνει το σήμα GSM. Οι ερευνητές ανέφεραν αύξηση της συχνότητας εμφάνισης λεμφωμάτων στους εκτεθειμένους ποντικούς (43% στα εκτεθειμένα ζώα, έναντι 22% στους μάρτυρες). Η έκθεση αυτή έθεσε σοβαρό ζήτημα των πιθανών καρκινογόνων δυνατοτήτων της χαμηλής έκθεσης σε σήματα κινητών τηλεφώνων [51, 52].

Ωστόσο, ο Imaida και οι συνεργάτες του [53, 54] δεν βρήκαν κανένα αποτέλεσμα έκθεσης σε σήματα PDC 929,2MHz και 1,439GHz για έξι εβδομάδες χρησιμοποιώντας το μοντέλο μεσοπρόθεσμης προαγωγής καρκίνου του ήπατος αρουραίου. Ο Adey και οι συνεργάτες του [55] δε διαπίστωσαν αύξηση των εγκεφαλικών όγκων σε αρουραίους εκτεθειμένους σε ακτινοβολία 836.55MHz με την κυματομορφή NADC και την κυματομορφή διαμόρφωσης συχνότητας που χρησιμοποιήθηκε σε αναλογικά συστήματα σε περίοδο 24 μηνών.

Ταυτόχρονα, υπάρχουν πολλές υποθέσεις που μπορούν να εξηγήσουν την επίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στη βιολογία της αναπαραγωγής. Η εκπομπή

ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων υψηλής ισχύος μπορεί να συμβάλλει, μεταξύ άλλων, στην αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών, ενώ η συχνότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας χαμηλού επιπέδου, μπορεί να προκαλέσει βιοχημικές επιδράσεις [56].

Το αρσενικό αναπαραγωγικό σύστημα είναι μια ομάδα ιστών πολύ ευαίσθητων σε εξωτερικούς παράγοντες και το σπέρμα που δε διαθέτει την ικανότητα αποκατάστασης του γενετικού του υλικού, είναι ευάλωτο σε διάφορες βλάβες που προκαλούνται από εξωτερικούς παράγοντες. Η σύγχρονη βιβλιογραφία σχετικά με το πρόβλημα της επίδρασης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε αρσενικά αναπαραγωγικά κύτταρα είναι αναμφισβήτητη. Με βάση μελέτες που έγιναν από τον Agarwal και τους συνεργάτες του [57], η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προκαλεί οξειδωτικό στρες και διαταραχές στα μιτοχόνδρια του σπέρματος καθώς και ενεργοποίηση της οξειδωσης NADH της κυτταρικής μεμβράνης. Το οξειδωτικό στρες εκθέτει επίσης το σπέρμα στην απώλεια της κινητικότητας και της ικανότητας συνδυασμού με το κύτταρο που είναι υπεύθυνο για τη γονιμοποίηση. Επίσης, η χρωματίνη του σπέρματος εκτίθεται στις αρνητικές επιδράσεις του οξειδωτικού στρες, η οποία υπόκειται σε θρυμματισμό και η διαδικασία σχηματισμού των προσαγωγών DNA εντείνεται επίσης [57, 58]. Η ομοίωση του οξειδοαναγωγικού συστήματος που διαταράσσεται από τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, καθώς και η λειτουργία των διαύλων ιόντων, είναι από κοινού υπεύθυνες για τη διαδικασία της υπερδραστηριότητας του σπέρματος. Ένας από τους παράγοντες που προκαλούν την υπερδραστηριότητα και την ικανότητα είναι το ανιόν ριζών υπεροξειδίου. Το ανθρώπινο σπέρμα, προκειμένου να αποκτήσει την ικανότητα γονιμοποίησης του κυττάρου, υπόκειται σε πολλές μεταβολικές μεταβολές που αφορούν κυρίως την κυτταρική μεμβράνη. Αυτή η διαδικασία περιγράφεται ως χωρητικότητα και λαμβάνει χώρα στη γυναικεία γεννητική οδό. Ως αποτέλεσμα της ικανότητας, τα σπερματοζωάρια επιτυγχάνουν την ικανότητα αλληλεπίδρασης με τις δομές του *corona radiata* και αργότερα με τη ζώνη *pellucida* του ωοκυττάρου με ωάρια. Ως αποτέλεσμα της χωρητικοποίησης, παρατηρείται τροποποίηση της διαδρομής και της κίνησης των γαμετών, που συνίσταται στην αύξηση του εύρους και της καμπυλότητας και στην επαγωγή μιας εντεινόμενης ισχύος προωθήσεως, που περιγράφεται ως κατάσταση υπερκινητικής κινητικότητας [58]. Η πρόωρη αποδέσμευση που πραγματοποιείται ακόμα στο σπερματικό πλάσμα προκαλεί ενεργητική εξάντληση του σπέρματος και μειώνει την πιθανότητα γονιμοποίησης. Η

ομοιόσταση που διατηρείται στο σύστημα οξειδοαναγωγικού συστήματος είναι ο παράγοντας που είναι υπεύθυνος για την κατάλληλη στιγμή για τη χωρητικότητα [59]. Με βάση τα αποτελέσματα μελετών σχετικά με την επίδραση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στα κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος, είναι γνωστό ότι η επίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας τροποποιεί τη μεταφορά των ιόντων Ca στο κύτταρο και η συχνότητα κυμάτων κοντά στα 15 Hz ασκούν την ισχυρότερη επίδραση [60]. Ο Ye και οι συνεργάτες του [61] και ο Ding και οι συνεργάτες του [62] περιγράφουν την αύξηση του ποσοστού του παθολογικού σπέρματος και τη μείωση της κινητικότητας του σπέρματος, με ταυτόχρονη έλλειψη επίδρασης στην πυκνότητά του στους εργαζόμενους των σταθμών ραντάρ. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν διαπιστωθεί και από τον Weyandt και τους συνεργάτες του [63].

Ωστόσο, υπάρχουν επιστημονικές αναφορές που επιβεβαιώνουν την ευεργετική επίδραση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων χαμηλότερων συχνοτήτων, τόσο στις παραμέτρους του σπέρματος όσο και στη λειτουργία των ιστών που είναι υπεύθυνα για την ανθρώπινη αναπαραγωγή. Παραδείγματα τέτοιων αναφορών είναι οι μελέτες του Falahati και των συνεργατών του [64] καθώς και του Łorucki και των συνεργατών του [65], οι οποίες έδειξαν ότι η έκθεση του σπέρματος σε ηλεκτρομαγνητικά κύματα στην περιοχή 10-50 Hz συμβάλλει στη βελτίωση της κινητικότητας των ανθρώπινων σπερματοζωαρίων.

Στην περίπτωση του γυναικείου αναπαραγωγικού συστήματος, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ασκούν παρόμοια αποτελέσματα με αυτά του αρσενικού αναπαραγωγικού συστήματος. Η δημιουργία οξειδωτικού στρες επηρεάζει τη σύνδεση των διαύλων ιόντων και η δομή των πρωτεϊνών και φαίνεται να είναι οι κυριότεροι παθομηχανισμοί της επίδρασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο ωοκύτταρο, το έμβρυο και στο περιβάλλον στο οποίο αναπτύσσονται. Η θερμική επίδραση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων φαίνεται να είναι σημαντική σε σχέση με τη λειτουργία των αρσενικών όρχεων. Ωστόσο, αυτό παραλείπεται στην περίπτωση των ωοθηκών [56].

Λαμβάνοντας υπόψη τους τεχνικούς και βιοηθικούς περιορισμούς που σχετίζονται με την απόκτηση ωοκυττάρων, οι διαθέσιμες αναφορές σχετικά με την επίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στις λειτουργίες του βασίζονται κυρίως σε ζωικά μοντέλα. Ο Gul και οι συνεργάτες του [66] κατά τη διάρκεια της έκθεσης θηλυκών

αρουραίων με συχνότητα 900 MHz, παρατήρησαν μείωση του αριθμού των ωοθυλακίων που παρήχθησαν. Ο Roshangar και οι συνεργάτες του [67] κατέδειξαν ότι τα ωοκύτταρα στην ομάδα που εκτέθηκε σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έδειξε συρρίκνωση του πυρήνα και η ζώνη της ήταν πιο λεπτή σε σύγκριση με τα ωοκύτταρα από την ομάδα ελέγχου. Ο αριθμός των *microvilli* ήταν σημαντικά μειωμένος, στα κυτταρόπλασμα παρατηρήθηκαν σταγόνες λιπιδίων και διεσπάρησαν τα οργανικά κύτταρα. Στα κοκκώδη κύτταρα και τα κύτταρα των ακτινών *corona* που συλλέχθηκαν από τους αρουραίους που εκτέθηκαν σε επαφή με τα κύματα, παρατηρήθηκαν σημάδια απόπτωσης, όπως: συμπίκνωση του πυρήνα, περιθωριοποίηση της χρωματίνης και διαστολή της πυρηνικής μεμβράνης. Παρόμοια συμπεράσματα σχετικά με το πρόβλημα της επιτάχυνσης της απόπτωσης ενός ωοκυττάρου ποντικού αντλήθηκαν από τον Sagioglou και τους συνεργάτες του [68]. Με τη σειρά τους, ο Delgado και οι συνεργάτες του [69] σύγκριναν την επίδραση των συχνοτήτων των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων των 10 Hz, 100 Hz και 1 kHz στην ανάπτυξη των εμβρύων όρνιθας. Το τερατογόνο αποτέλεσμα αφορούσε τις περιοχές από 100 έως 1.000 Hz, ενώ η έκθεση σε 10 Hz δεν είχε καμία επίδραση στην γέννηση.

Ωστόσο, ο Lim και οι συνεργάτες του [70] βρήκαν ευεργετική επίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που παράγεται από τις συχνότητες 10 Hz και 50 Hz επί της καλλιέργειας των σειρών βλαστοκυττάρων που συλλέγονται από τους χοίρους. Ένα παρόμοιο φαινόμενο παρατηρήθηκε και από τον Liu και τους συνεργάτες του [71] στην περίπτωση σειρών κυτταροκαλλιέργειας μεσεγχυματικών κυττάρων στρώματος μυελού οστών αρουραίου.

Αυτά τα αποτελέσματα κατέδειξαν ότι η έκθεση σε διάφορες συχνότητες ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας έχει θετικές επιδράσεις στη βιωσιμότητα, τον πολλαπλασιασμό και την οστεογονική διαφοροποίηση. Η ανάλυση των διαθέσιμων αναφορών σχετικά με την επίδραση των συχνοτήτων που σχετίζονται με το κινητό δίκτυο και το Wi-Fi πραγματοποιήθηκε από τον Naziroğlu και τους συνεργάτες του [72], οι οποίοι υπογράμμισαν τον κίνδυνο που σχετίζεται με την εμφάνιση αποβολών και την έλλειψη άλλων επιδράσεων στο έμβρυο σε έγκυες γυναίκες που εκτίθενται αυτών των συχνοτήτων. Οι ίδιες μελέτες σχετικά με τη χρήση κινητών τηλεφώνων κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης έδειξαν ότι η κατάσταση του νεογέννητου που αξιολογήθηκε αμέσως μετά την παράδοση σύμφωνα με την κλίμακα APGAR ήταν

χειρότερη στις γυναίκες που εκτέθηκαν σε μεγαλύτερο βαθμό στα κύματα της ζώνης GSM [73]. Μια εξήγηση αυτού του φαινομένου μπορεί να αναζητηθεί στην επίδραση που ασκούν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα στις λειτουργίες του πλακούντα. Σύμφωνα με τον Łorucki και τους συνεργάτες του [74] στη συχνότητα 50 Hz, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προκαλεί δυσμενείς μορφολογικές μεταβολές στους ιστούς του πλακούντα, που σχετίζονται με τους πυρήνες, το κυτταρόπλασμα και τις κυτταρικές μεμβράνες. Οι ερευνητές παρατήρησαν επίσης μια μειωμένη χρήση οξυγόνου και εντατικοποίηση της απόπτωσης στα κύτταρα του πλακούντα που εκτέθηκαν σε αυτές τις περιοχές κυμάτων, καθώς και ότι ο ιστός του πλακούντα λόγω της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αύξησε την έκκριση ιόντων ασβεστίου, γεγονός που μπορεί να υποδηλώνει την επίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στη λειτουργία των διαύλων ασβεστίου που περιγράφονται σε άλλους ιστούς [75, 76].

Επιπρόσθετα, ορισμένες επιδημιολογικές μελέτες υποδηλώνουν μικρή αύξηση του κινδύνου παιδικής λευχαιμίας με έκθεση σε μαγνητικά πεδία χαμηλής συχνότητας στο σπίτι. Ωστόσο, οι επιστήμονες δεν κατέληξαν γενικά στο συμπέρασμα ότι τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν μια σχέση αιτίου-αποτελέσματος μεταξύ της έκθεσης στα πεδία και της ασθένειας (σε αντίθεση με τα αντικείμενα στη μελέτη ή τα αποτελέσματα που δε σχετίζονται με την έκθεση στον αγρό) [77]. Εν μέρει, το συμπέρασμα αυτό κατέληξε, ότι οι μελέτες σε ζώα και εργαστήρια δεν καταδεικνύουν οποιεσδήποτε αναπαραγωγικές επιδράσεις, οι οποίες συμφωνούν με την υπόθεση ότι τα πεδία προκαλούν ή προάγουν τον καρκίνο. Οι μελέτες μεγάλης κλίμακας βρίσκονται σε εξέλιξη σε πολλές χώρες και μπορεί να συμβάλουν στην επίλυση αυτών των προβλημάτων [26].

Τέλος, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία επηρεάζει και την ανθρώπινη ακοή [78]. Ο Özgür και οι συνεργάτες του [79] διαπίστωσαν ότι η χρόνια έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικό πεδίο μπορεί να προκαλέσει βλάβη οδηγώντας σε νευρωνικό εκφυλισμό του ακουστικού συστήματος. Η ιστοπαθολογική και ανοσοϊστοχημική ανάλυση έδειξε σημάδια νευρωνικού εκφυλισμού, όπως αυξημένη κενοτοπία στον κοχλιακό πυρήνα, εμφάνιση πυκνωτικού κυττάρου και οίδημα στην ομάδα που εκτέθηκε στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου. Ωστόσο, ο Morales και οι συνεργάτες του [80], διερεύνησαν την πιθανή επίδραση ηλεκτρομαγνητικών πεδίων χαμηλής και εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας στα κύτταρα

των εξωτερικών τριχών του οργάνου *Corti*, σε μοντέλο ινδικού χοιριδίου. Χρησιμοποιήθηκαν ηλεκτρομαγνητικά πεδία των 50, 500, 1000, 2000, 4000 και 5000 Hz και ένταση 1,5 microT χρησιμοποιώντας έναν εγκάρσιο οδηγό ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Διαπίστωσαν ότι η παρατεταμένη έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία συχνότητας 50 Hz έως 5 KHz και ένταση 1,5 microT δεν προκάλεσε λειτουργική ή μορφολογική μεταβολή στα εξωτερικά κύτταρα τρίχας του οργάνου *Corti* του ινδικού χοιριδίου.

1.2.1 Ο ρόλος της απόστασης στην επίδραση της υγείας

Δεδομένου ότι οι γραμμές μεταφοράς ενέργειας μπορούν να μεταφέρουν τεράστιες ποσότητες ρεύματος, συχνά σε υψηλές τάσεις, δημιουργούνται σημαντικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Στην περίπτωση γραμμών μεταφοράς υψηλής τάσης, το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο μπορεί να εκτείνεται σε περίπου 300 m [81]. Γενικότερα, έχει βρεθεί ότι όσοι άνθρωποι ζουν κοντά σε πύργους ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας έχουν μεγάλες πιθανότητες να αναπτύξουν καρκίνο του εγκεφάλου, λευχαιμία, νόσο του Lou Gehrig, Alzheimer, καρκίνο του μαστού, αποβολές, γενετικές ανωμαλίες και προβλήματα αναπαραγωγής, μειωμένη λίμπιντο, κούραση, κατάθλιψη, άγχος και αυτοκτονικές τάσεις, ορμονικές ανισορροπίες, καρδιαγγειακές και νευροεκφυλιστικές παθήσεις, καθώς και διαταραχές ύπνου [78].

Για να συμβεί η επικοινωνία μέσω κινητής τηλεφωνίας, το σύστημα υποδιαιρείται σε κελιά. Κάθε κυψέλη διαθέτει σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας που είναι σε θέση να στέλνουν σήματα ισχύος σε όλη την εμβέλειά τους. Κάθε σταθμός βάσης κινητής τηλεφωνίας μπορεί να εξυπηρετεί ταυτόχρονα πολλά τηλέφωνα, εκχωρώντας σε καθένα από αυτά ένα στενό εύρος συχνοτήτων [82].

Η μη ιονίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία απορροφάται από το δέρμα και από τα βαθύτερα επίπεδα του σώματος, διασκορπίζοντας επανειλημμένα σε βάθος, ενδεχομένως προκαλώντας αύξηση της θερμοκρασίας που δεν γίνεται αντιληπτή από τους φυσικούς θερμικούς αισθητήρες του σώματος (που βρίσκονται επιφανειακά). Η θερμότητα που παράγεται εσωτερικά εξαρτάται από το χρόνο έκθεσης, την ένταση του πεδίου και το πάχος του ιστού και μερικές φορές δεν μπορεί να αντισταθμιστεί από το

σώμα, οδηγώντας έτσι σε βιολογικές επιδράσεις. Το βάθος διείσδυσης κυμάτων γύρω από τη συχνότητα 900 MHz που χρησιμοποιείται στην κινητή τηλεφωνία, είναι 3 mm. Τα κύματα 2.400 MHz από τους φούρνους μικροκυμάτων διαπερνούν περίπου 1.7 cm. Στους ιστούς με χαμηλή περιεκτικότητα σε νερό, όπως τα οστά, τα βάθη είναι 17,7 cm και 11,2 cm αντίστοιχα [82].

Ο Santini και οι συνεργάτες του [83] διαπίστωσαν περισσότερα σημαντικά συμπτώματα σε ακτίνα 300 m από τους σταθμούς βάσης του κινητού τηλεφώνου: ευερεθιστότητα, κατάθλιψη, απώλεια μνήμης, ζάλη, μειωμένη λίμπιντο, κεφαλαλγία, διαταραχές ύπνου, αδιαθεσία (200 m) και κόπωση (300 m). Επτά συμπτώματα ήταν πιο σημαντικά στις γυναίκες: ναυτία, απώλεια όρεξης, οπτικές διαταραχές, καταθλιπτική τάση, κεφαλαλγία, αϋπνία και αδιαθεσία. Η μειωμένη λίμπιντο ήταν το πιο κοινό σύμπτωμα στους άνδρες. Σύμφωνα με τον Navarro και τους συνεργάτες του [84], αλλά και τον Bortkiewicz και τους συνεργάτες του [85], τα άτομα που ζουν κοντά στους σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας ανέφεραν κυκλοφορικά προβλήματα, διαταραχές ύπνου, ευερεθιστότητα, κατάθλιψη, θολή όραση και δυσκολίες συγκέντρωσης. Ομοίως, ο Abdel-Rassoul και οι συνεργάτες του [86] διαπίστωσαν ότι τα άτομα που έμεναν κοντά σε σταθμό βάσης κινητών τηλεφώνων είχαν νευροαναπνευστικά προβλήματα όπως καταθλιπτική τάση, τρόμο, ζάλη, κεφαλαλγία, διαταραχές ύπνου και οπτικές διαταραχές, μεταξύ άλλων.

Η μελέτη του Silva και των συνεργατών του [82], έδειξε μια συσχέτιση μεταξύ έκθεσης σε μη ιονίζουσες σταθμούς βάσης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας / κινητού τηλεφώνου για άτομα που ζουν μεταξύ 100 και 200 μέτρων από τους σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας και διάγνωσης άγχους και κατάθλιψης. Όσοι ζούσαν έως 300 m από τους σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας παρουσίασαν σημαντικά χαμηλότερη συσχέτιση με τα συμπτώματα κατάθλιψης, και η διαβίωση έως 400 m από τους σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας συσχετίστηκε με καταθλιπτική τάση και συμπτώματα κατάθλιψης. Η παραμονή στο σπίτι από 16,1 έως 24 ώρες την ημέρα σχετίζεται με μειωμένη λίμπιντο σε άτομα που ζουν 100 έως 200 m από τους σταθμούς βάσης του κινητού τηλεφώνου [82].

Οι κεραίες σε σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας εγκαθίστανται έτσι ώστε η εκπομπή ακτινοβολίας να είναι μέγιστη όταν είναι κάθετη προς την κεραία. Σε σχέση με τον πύργο, οι κεραίες είναι κεκλιμένες προς το έδαφος, έτσι ώστε σε μια δεδομένη

απόσταση από τον πύργο τα κύματα να φτάνουν στο έδαφος με μέγιστη ένταση. Πριν και μετά από αυτή την απόσταση, τα κύματα εμφανίζουν σημαντικά χαμηλότερες εντάσεις. Η τοπογραφία του εδάφους, το ύψος του πύργου, η κλίση των κεραιών, η ακτινοβολημένη ενέργεια και η απόσταση από τον πύργο προς τα νοικοκυριά αποτελούν επίσης πρωταρχικούς παράγοντες για τον προσδιορισμό της περιοχής με την υψηλότερη συχνότητα κυμάτων που εκπέμπονται από τους σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας, εμπόδια και κτίρια. Έτσι, τα σπίτια που βρίσκονται μεταξύ 100 και 200 μέτρων από τον πύργο παρουσιάζουν υψηλότερο κίνδυνο σε σύγκριση με εκείνα που βρίσκονται πλησιέστερα (0 έως 100 m) και μακρύτερα (> 200 m) από τους σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας [87].

Ένα πρόβλημα με την έκθεση σε σταθμούς μη ιονίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας / κινητού τηλεφώνου ήταν η απόσταση από την πηγή στα σπίτια. Για παράδειγμα, σε απόσταση 150 μέτρων από σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας, οι τυπικές τιμές για ένα ηλεκτρικό πεδίο (0,5 έως 2V / m) θεωρούνται χαμηλές, αλλά αντιπροσωπεύουν συνεχή έκθεση. Έχουν βρεθεί υψηλά επίπεδα ακτινοβολίας σε περιοχές γύρω από τις οποίες η κύρια δέσμη φτάνει στο έδαφος και σε συνδυασμό με την τοπική αντανάκλαση, η ένταση της ακτινοβολίας μειώνεται με το τετράγωνο της απόστασης από το σημείο της τροφοδοσίας της κεραίας [88].

Είναι δύσκολο να προβλεφθεί μια ασφαλή απόσταση από τις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας, επειδή τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία μπορούν να διαφέρουν πολύ ανάλογα με την κατάσταση. Η καλύτερη λύση είναι η μέτρηση με Gaussmeter για να καθοριστούν τα πραγματικά επίπεδα των μαγνητικών πεδίων και την απόσταση που απαιτείται στη συγκεκριμένη περίπτωση. Τα ισχυρότερα μαγνητικά πεδία εκπέμπονται συνήθως από τις γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης - τις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας στους μεγάλους, ψηλούς μεταλλικούς πύργους. Είναι ακόμη πιο δύσκολο να προβλεφθεί μια ασφαλή απόσταση από τις γραμμές διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Για παράδειγμα, τα σπίτια με κοντινό μετασχηματιστή θα έχουν μερικές φορές υψηλότερα ηλεκτρομαγνητικά πεδία επειδή ο μετασχηματιστής είναι ένας κόμβος και οι γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας μεταφέρουν περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια σε μια ομάδα κατοικιών. Γενικά, ένα επίπεδο μαγνητικού πεδίου 0,5 mG θα επιτευχθεί κάπου μεταξύ 10 και 200 ποδιών από τα καλώδια [88].

Πίνακας 1. Συστάσεις για το ευρύ κοινό για τα πεδία συχνότητας της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας γύρω από σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας[81]

Συχνότητα	Ηλεκτρική ισχύς πεδίου	Μαγνητικό πεδίο	Πυκνότητα ισχύος
900 MHz	41	0.14	4.50
1800 MHz	58	0.20	9.00
2100 MHz	61	0.20	10.00

Πίνακας 2. Συνιστώμενη απόσταση από πηγές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας [88]

Πηγές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας	Συνιστώμενη απόσταση
Ηλεκτρικά καλώδια	3.048-304.8 m
Πύργοι εκπομπής	2253.082 m
Ηλεκτρικά πάνελ	1.2192-3.048 m
Ηλεκτρικές καλωδιώσεις	0.6096-1.8288 m
Φωτισμός	0.304-2.438 m
Συσκευές	1.2192-9.144 m
Ηλεκτρονικά είδη	0.6096-1.8288 m
Ασύρματες τεχνολογίες	1.2192-12.192 m

Κεφάλαιο 2

Η Ηλεκτρομαγνητική Θωράκιση

2.1 Ορισμός της ηλεκτρομαγνητικής θωράκισης

Η ηλεκτρομαγνητική θωράκιση είναι η πρακτική της μείωσης του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου σε ένα χώρο, εμποδίζοντας το πεδίο με φραγμούς κατασκευασμένους από αγώγιμα ή μαγνητικά υλικά. Η θωράκιση εφαρμόζεται συνήθως σε περιβλήματα για την απομόνωση ηλεκτρικών συσκευών από το περιβάλλον τους και σε καλώδια για την απομόνωση καλωδίων από το περιβάλλον μέσω του οποίου τρέχει το καλώδιο [89].

Η θωράκιση μπορεί να μειώσει τη σύζευξη ραδιοκυμάτων, ηλεκτρομαγνητικών πεδίων και ηλεκτροστατικών πεδίων. Η ποσότητα της αναγωγής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το χρησιμοποιούμενο υλικό, το πάχος του, το μέγεθος του θωρακισμένου όγκου και τη συχνότητα των ενδιαφερομένων πεδίων και το μέγεθος, το σχήμα και τον προσανατολισμό των ανοιγμάτων σε μια ασπίδα σε ένα προσπίπτον ηλεκτρομαγνητικό πεδίο [90].

2.2 Υλικά θωράκισης

Τυπικά υλικά που χρησιμοποιούνται για ηλεκτρομαγνητική θωράκιση περιλαμβάνουν φύλλο μετάλλου, πλέγμα και μεταλλικό αφρό. Οποιοσδήποτε οπές στην ασπίδα ή το πλέγμα πρέπει να είναι σημαντικά μικρότερες από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που διατηρείται έξω, ή το περίβλημα δεν θα προσεγγίζει αποτελεσματικά μια αδιάσπαστη αγώγιμη επιφάνεια [91].

Μια άλλη συνήθως χρησιμοποιούμενη μέθοδος θωράκισης, ειδικά με ηλεκτρονικά προϊόντα που στεγάζονται σε πλαστικά περιβλήματα, είναι η επικάλυψη του εσωτερικού του περιβλήματος με μεταλλική μελάνη ή παρόμοιο υλικό. Η μελάνη αποτελείται από ένα υλικό φορέα φορτωμένο με ένα κατάλληλο μέταλλο, τυπικά χαλκό ή νικέλιο, με τη μορφή πολύ μικρών σωματιδίων. Ψεκάζεται επάνω στο περίβλημα και, μόλις στεγνώσει, παράγει ένα συνεχές αγώγιμο στρώμα από μέταλλο, το οποίο μπορεί

να συνδέεται ηλεκτρικά με το έδαφος του εξοπλισμού του σκελετού, παρέχοντας έτσι αποτελεσματική θωράκιση [92].

Τα περιβλήματα θωράκισης RF φιλτράρουν μια σειρά συχνοτήτων για συγκεκριμένες συνθήκες. Ο χαλκός χρησιμοποιείται για θωράκιση ραδιοσυχνοτήτων (RF) επειδή απορροφά ραδιοφωνικά και μαγνητικά κύματα. Τα κατάλληλα σχεδιασμένα και κατασκευασμένα περιβλήματα θωράκισης RF από χαλκό ικανοποιούν τις περισσότερες ανάγκες θωράκισης RF, από χώρους ηλεκτρονικών υπολογιστών και ηλεκτρικών μεταγωγών σε νοσοκομειακές μονάδες CAT-scan και MRI [93].

2.2.1 Κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα θωράκισης-Ορισμοί

1*1 rib-Δίπλακο: Αξίζει να αναφερθεί, ότι η διάταξη αυτή έχει μεγαλύτερη σταθερότητα και αντοχή από άλλες διατάξεις όπως για παράδειγμα τις εξής: 2x2, 2x4, 3x2, 4x4 [102].

Μονόπλακο (Single Jersey): Χαρακτηριστικά του μονόπλακου υφάσματος είναι: η εμπρός όψη και η πίσω όψη του υφάσματος είναι διαφορετικές, στα άκρα εμφανίζεται ρολλάρισμα (τόσο στις πλευρές όσο και στην αρχή και το έλος του υφάσματος), οι όψεις είναι σαφώς ορατές στην πρόσοψη του υφάσματος, η έκταση σε πλάτος είναι περίπου διπλάσια από το μήκος, το πάχος του υφάσματος είναι περίπου διπλάσιο από τη διάμετρο του νήματος που χρησιμοποιείται, υπάρχει μόνο μία σειρά πλεκτών θηλιών ανά στρώματα του υφάσματος, η άνετη εφαρμογή σε υφάσματα, η ελευθερία κινήσεων, η συγκράτηση του σχήματος, η εξαιρετική ικανότητα ντραπαρίσματος, σταθερή ποιότητα που αποδίδει υψηλή απόδοση στο πλέξιμο, σχεδόν 100% ανάκτηση στα ενδύματα, καλή αντοχή στις χημικές ουσίες [95, 102].

Interlock: Το «interlock» βασικά προέρχεται από το 1*1 λάστιχο και απαιτούνται δύο τροφοδοσίες 1*1 rib διασταυρούμενες για να ολοκληρώσουμε μια πλέξη imterlock. Η διάταξη των βελονών επάνω στις πλάκες είναι διαφορετική από εκείνη του 1*1 λάστιχο, ενώ χρειάζεται διαφορετικό σετ έγκεντρων για την κίνηση των βελονών. Η πλεκτομηχανή θα είναι δίπλακη κυκλική ή ευθύγραμμη. Μια σειρά θηλιών interlock ολοκληρώνεται όταν τροφοδοτηθούν διαδοχικά δύο σειρές 1*1 λάστιχο αντίθετης διάταξης, δίνοντας την εικόνα ενιαίας σειράς θηλιών. Είναι παρόμοιο με το δίπλακο, εκτός της ελαστικότητας. Το ύφασμα είναι εξαιρετικά μαλακό, σταθερό και

απορροφητικό. Το μεγάλο πλεονέκτημα του υφάσματος αυτού είναι η μη δημιουργία ρόλου στα άκρα του, παραμένει δε επίπεδο σε κάθε του στρώση. Αντίθετα το μειονέκτημα που ξεχωρίζει σε σχέση με ένα πλεκτό rib είναι η συρρίκνωση του πλάτους του, όταν και τα δύο έχουν κατασκευαστεί σε πλεκτομηχανή ίδιας διαμέτρου [96, 102].

2.3 Θωράκιση υψηλών και χαμηλών συχνοτήτων

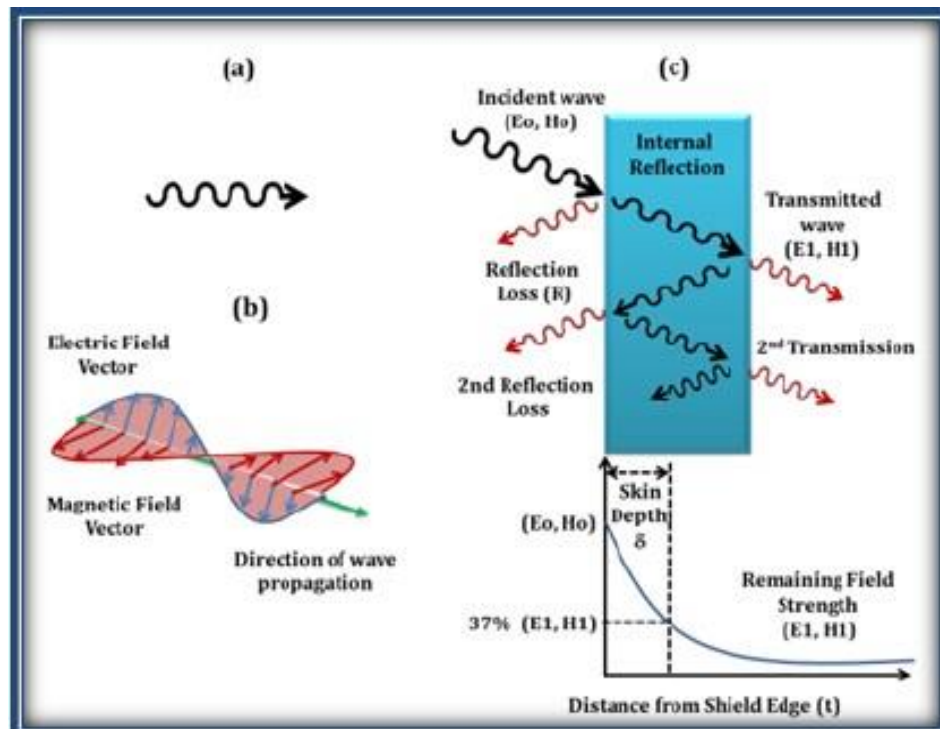
Μία ηλεκτρομαγνητική δομή θωράκισης διατάξεων κυκλωμάτων υψηλής συχνότητας είναι ικανή να προστατεύει ηλεκτρομαγνητικά κάθε λειτουργικό κύκλωμα υψηλής συχνότητας εντός ενός στενού χώρου. Ένας πίνακας τυπωμένου κυκλώματος τοποθετημένος με ένα πλήθος λειτουργικών κυκλωμάτων υψηλής συχνότητας εγκαθίσταται στην θωράκιση. Οι ράβδοι σχηματίζονται επί της εσωτερικής επιφάνειας ενός διαμορφωμένου πλαστικού περιβλήματος το οποίο έχει υποστεί κατεργασία για την παροχή ηλεκτρικής αγωγιμότητας για το διαχωρισμό των λειτουργικών κυκλωμάτων υψηλής συχνότητας που είναι τοποθετημένα στην πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος. Στη θωράκιση υψηλών συχνοτήτων το ύφασμα ανακλά ακτινοβολίες από κεραίες κινητής τηλεφωνίας, ραντάρ, WiFi κ.ά. [97].

Μια αποτελεσματική και εύκολα υλοποιημένη λύση για την εσωτερική και την εξωτερική θωράκιση είναι η εφαρμογή ειδικά σχεδιασμένου ηλεκτρικά αγώγιμου χρώματος σε τοίχους και οροφές. Το αγώγιμο χρώμα διατίθεται σε διάφορα σκευάσματα και αποτελείται από σωματίδια άνθρακα αιωρούμενα σε ακρυλικό συνδετικό υλικό υψηλής ποιότητας - τα χρώματα δεν περιέχουν μεταλλικά συστατικά και επομένως είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά στη διάβρωση. Τα υλικά τυπικά χρησιμοποιούνται για εσωτερικές εφαρμογές και μπορούν να χαλαρώσουν ή να κολληθούν ή να συρραφτούν πάνω σε γυψοσανίδες για παράδειγμα. Συχνά η απλούστερη μέθοδος για τη δραστική μείωση της έντασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εισέρχεται σε ένα κτίριο μέσω των παραθύρων, είναι η εγκατάσταση κουρτινών από ειδικά παραγόμενο προστατευτικό ύφασμα. Τα θωρακισμένα υφάσματα είναι κατασκευασμένα από νήματα από πολυεστέρα ή βαμβάκι υφασμένα με μικροσκοπικά νήματα αργύρου / χαλκού. Τα μεταλλικά νήματα επικαλύπτονται σε μία λάκα, οπότε το υλικό δεν έχει επιφανειακή αγωγιμότητα. Τα υφάσματα έχουν την εμφάνιση και την αίσθηση ενός τυπικού καθαρού υλικού κουρτίνας και δουλεύουν με

τον ίδιο τρόπο όπως και οι κουνουπιέρες για την προστασία των κλινών από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία [98].

Αντίθετα, στη θωράκιση χαμηλών συχνοτήτων το ύφασμα ανακλά ηλεκτρικά πεδία από καλώδια ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων, πυλώνες ΔΕΗ κ.ά. Είναι αγωγίμο εξωτερικά και προτείνεται να γειωθεί συνδέοντάς το στη γείωση μιας πρίζας με ειδικό φως [97].

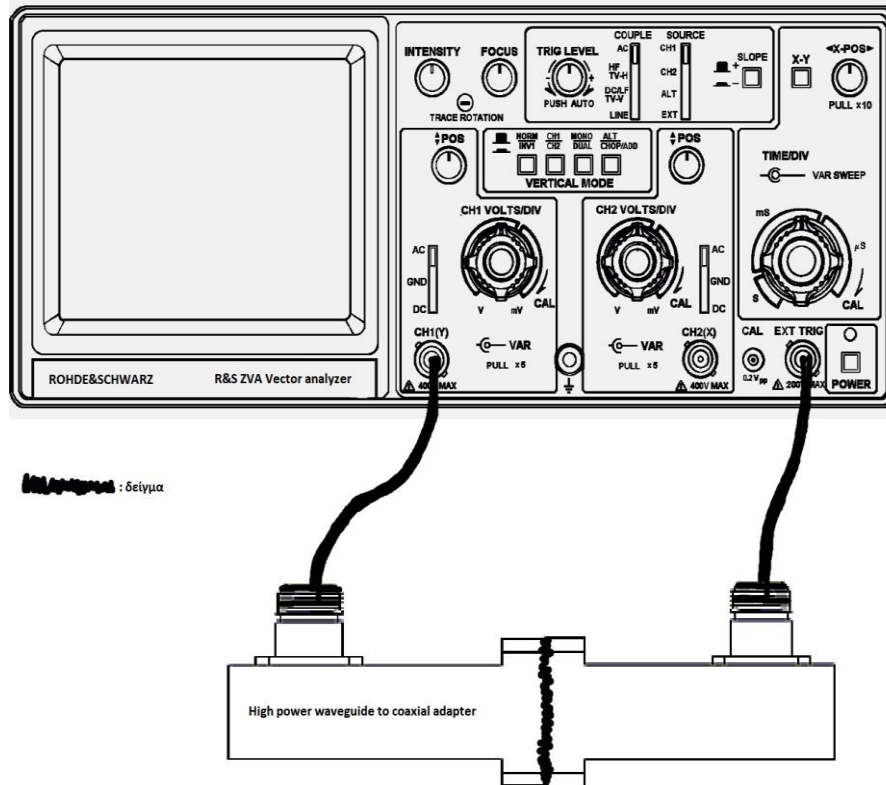
Πολλές ηλεκτρικά ευαίσθητες συσκευές, όπως μετατροπείς, αισθητήρες, ανιχνευτές και όργανα ελέγχου απαιτούν προστασία από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές (EMI). Η παρεμβολή υψηλότερης συχνότητας συνήθως θωρακίζεται χρησιμοποιώντας ένα λεπτό αγωγίμο στρώμα μεταλλοποίησης. Δυστυχώς, απλά ηλεκτρικά αγωγίμα στρώματα (π.χ. χαλκός, αλουμίνιο) είναι διαφανή σε μαγνητικά πεδία χαμηλής συχνότητας που μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα σε μια ηλεκτρονική συσκευή. Αυτή η μαγνητική παρεμβολή χαμηλής συχνότητας μπορεί να εκπέμπεται από πηγές όπως διακόπτες, μοτέρ, τροφοδοτικά και μετασχηματιστές και είναι συνήθως ένα προκλητικό πρόβλημα θωράκισης των EMI. Υλικά με υψηλή μαγνητική διαπερατότητα προστατεύουν τις ευαίσθητες συσκευές από τον ηλεκτρικό θόρυβο που προκαλούν τα μαγνητικά πεδία με την ανακατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου μέσω του προστατευτικού υλικού και μακριά από την προστατευμένη συσκευή. Με τον ίδιο τρόπο, συσκευές που εκπέμπουν μαγνητικά πεδία χαμηλής συχνότητας μπορούν επίσης να απομονωθούν χρησιμοποιώντας υλικά με υψηλή μαγνητική διαπερατότητα. Κάθε υλικό έχει ένα μαγνητικό κορεσμό, που καθορίζει την ισχύ του μαγνητικού πεδίου που μπορεί να θωρακιστεί αποτελεσματικά. Σε ισχυρά πεδία, μια μαγνητική ασπίδα μπορεί να γίνει "πλήρης", μετά την οποία δεν θα παρέχει πλέον αποτελεσματική θωράκιση. Πολλά υλικά που επιλέγονται για εφαρμογές υψηλής μαγνητικής έντασης έχουν καλό κορεσμό, αλλά ο υψηλότερος κορεσμός έρχεται συχνά βάση της απόλυτης διαπερατότητας που μπορεί να επιτευχθεί [99].



Εικόνα 2. Ο μηχανισμός της ηλεκτρομαγνητικής θωράκισης [100]

Κεφάλαιο 3

Πειραματικό Μέρος



Υλοποιώντας το παραπάνω κύκλωμα, λαμβάνονται οι μετρήσεις σε db, οι οποίες υποδηλώνουν τη ποσότητα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, η οποία περνάει μέσα από το ύφασμα/δείγμα.

3.1 Σκοπός του ελέγχου

Σκοπός αυτού του πειράματος είναι ο προσδιορισμός της εξασθένησης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, η οποία περνάει μέσα από το ύφασμα μέσω μιας μεταλλικής ορθογωνικής διάταξης, high power waveguide to coaxial adapter και ενός VNA.

3.2 Αρχή του ελέγχου

Δημιουργούνται με την βοήθεια ευθύγραμμης, χειροκίνητης, μονόπλακης πλεκτομηχανής 5 δείγματα διαφορετικής πλέξης, με βαμβακερά και μεταλλικά νήματα σε διαφορετική πυκνότητα. Τα δείγματα αυτά στη συνέχεια τοποθετούνται κατάλληλα σε μία πλάκα ορθογωνικής διατομής όπου και μετράται η εξασθένηση της ακτινοβολίας.

3.3 Κλιματισμός

Το πείραμα θα πρέπει να γίνει σε κανονικές συνθήκες εργαστηρίου.

3.4 Εξοπλισμός, δοκίμια

- 5 δείγματα , τα οποία δημιουργήθηκαν ως ακολούθως:
 - 1ο δείγμα : 2σειρές βαμβακερό νήμα και 2 σειρές αγωγίμο νήμα
 - 2ο δείγμα : 4 σειρές βαμβακερό νήμα και 2 σειρές αγωγίμο νήμα
 - 3ο δείγμα: 8 σειρές βαμβακερό νήμα και 2 σειρές αγωγίμο νήμα
 - 4ο δείγμα: 16 σειρές βαμβακερό νήμα και 2 σειρές αγωγίμο νήμα
 - 5ο δείγμα : 32 σειρές βαμβακερό νήμα και 2 σειρές αγωγίμο νήμα
- Ευθύγραμμη μονόπλακη πλεκτομηχανή
- VNA
- 2 καλώδια
- Μεταλλική ορθογωνική διάταξη (σωλήνας, κυματοδηγός)

VNA: Ο συγκεκριμένος έχει τέσσερις θύρες και δύο πομπούς, που σημαίνει ότι μπορούμε να έχουμε ένα κύκλωμα που δείχνει ταυτόχρονα δύο πηγές, επιτρέποντας

έτσι να γίνονται μη γραμμικές μετρήσεις συμπεριφοράς μη γραμμικών κυκλωμάτων, έχοντας επίσης και ένα μίκτη. Ο μίκτης έχει μία είσοδο που είναι το σήμα που έρχεται από τον αέρα (κεραία) και μια άλλη έξοδο που παράγεται τοπικά και κατεβάζει την έξοδο της κεραίας στη βασική ζώνη, εκεί που ακούμε το σήμα. Στις θύρες του 1,2,3, 4 αλλάζει η συχνότητα.

Κυματοδηγός: Η ορθογωνική διάταξη λέγεται κυματοδηγός, βγαίνουν σε συγκεκριμένες διαστάσεις και έχουν συγκεκριμένο εύρος που λειτουργούν. Για παράδειγμα η μεγάλη είναι 1,17-1,73Gh, παρόλο που το όργανο λειτουργεί από 10Mh -24Gh, ενώ ο κυματοδηγός μικρότερης διάστασης λειτουργεί από 2,17-3,3Gh. Για το συγκεκριμένο πείραμα θα χρησιμοποιηθούν οι συχνότητες από 2,17-3,3Gh.

3.5 Διαδικασία δοκιμής:

3.5.1 Ηλεκτρονική πλεκτομηχανή CMS211.6

Τα δείγματα έγιναν στην ηλεκτρονική πλεκτομηχανή CMS211.6 που διαθέτουμε στο εργαστήριο της σχολής. Έγινε δημιουργία του προγράμματος σύμφωνα με τις προδιαγραφές που απαιτήθηκαν για την πραγματοποίηση του επόμενου πειράματος. Η δομή που επιλέχθηκε είναι μονόπλακο, με εναλλαγές στην τροφοδοσία των νημάτων, βαμβακερό νήμα και αγωγίμο. Έγιναν οι απαιτούμενες ρυθμίσεις στην πλεκτομηχανή ώστε τα παραγόμενα πλεκτά δείγματα να έχουν συγκεκριμένες διαστάσεις, 14cm πλάτος και 22cm μήκος τουλάχιστον.

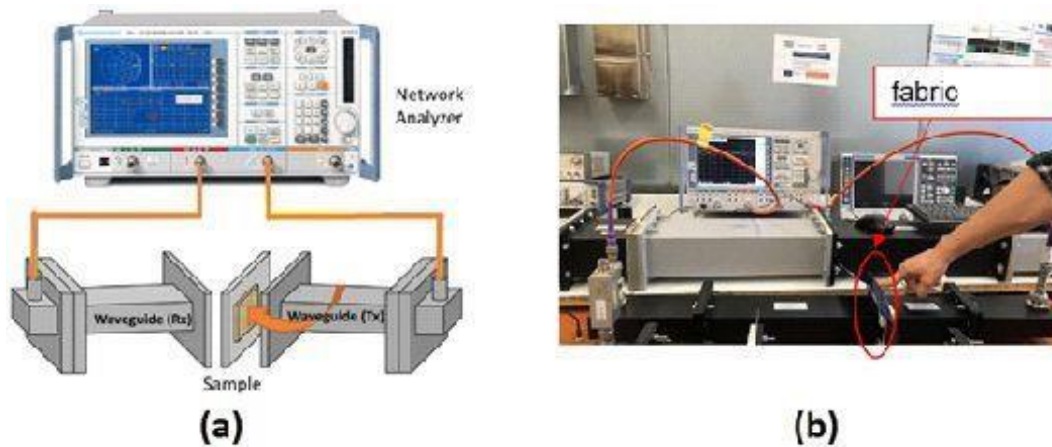
Οι εναλλαγές στην τροφοδοσία των νημάτων που κατασκευάστηκαν αναφέρθηκαν.



Εικόνα 3. Ηλεκτρονική πλεκτομηχανή CMS211.6

3.5.2 VNA, Κυματοδηγός

Αρχικά συνδέουμε τα δύο καλώδια στην θύρα 1 (συντελεστής ανάκλασης) και 2 (συντελεστής διάδοσης) του VNA. Η θύρα 1 περιέχει μία διάταξη, η οποία προσαρμόζει το καλώδιο, που έχει συγκεκριμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, με τον κυματοδηγό, που έχει διαφορετικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά, επιτρέποντας τη διέλευση του κύματος προς αυτόν. Ο κυματοδηγός έχει πολύ καλή αγωγιμότητα και μεγάλο πάχος με αποτέλεσμα ότι υπάρχει μέσα σε αυτόν τον σωλήνα να μην επικοινωνεί με τον έξω κόσμο. Αντίστοιχα θα συνδέσουμε έναν άλλον μετατροπέα στην άλλη μεριά του κυματοδηγού και στη θύρα 2 του VNA. Πριν την εκκίνηση του πειράματος θα μετρηθεί το μεταφερσιμότητα χωρίς το δείγμα για να πάρουμε το αποτέλεσμα και θα κάνουμε αλφάδιασμα των συσκευών, έτσι ώστε να είναι στα 0db γιατί τα καλώδια, ο μετατροπέας και ο κυματοδηγός θα έχουν κάποια εξασθένηση. Σκοπός του πειράματος είναι να μετρήσουμε την εξασθένηση που οφείλεται αποκλειστικά στο ύφασμα και σε κανέναν άλλο παράγοντα που υπάρχει ταυτόχρονα στη διάταξη. Συνεπώς ξεκινώντας το πείραμα σε ένα baseline των 0db, τοποθετούμε τα δείγματά μας ένα προς ένα ανάμεσα στους δύο σωλήνες, προσέχοντας όμως να μην έρχεται σε επαφή με το μέταλλο του κυματοδηγού, γιατί προκαλείται γείωση και θα διαφοροποιήσει την εξασθένηση.



Εικόνα 4. (α) Σχηματική απεικόνιση του κουτιού δοκιμής που χρησιμοποιήθηκε για τις n μετρήσεις EMSE και (β) φωτογραφία της δοκιμαστικής κλίνης με το δείγμα υφάσματος τοποθετημένο και ασφαλισμένο μεταξύ δύο ευθύγραμμων κυματοδηγών

3.6 Αποτελέσματα, συζήτηση αποτελεσμάτων

Τα νήματα που χρησιμοποιήθηκαν στις δοκιμές (αγώγιμα και βαμβακερά) παρουσιάζονται στον πίνακα 4.

Πίνακας 3. Προδιαγραφές νήματος

Υλικά	Καταμέτρηση νήματος	Σύνθεση	Αγωγιμότητα
Αγώγιμα νήματα	12/1x275/100z	Bekinox VN Ανοξειδωτο ατσάλι	1 Ω/cm
Νήμα βάσης	30/2Nm	100% Βαμβακερό	-

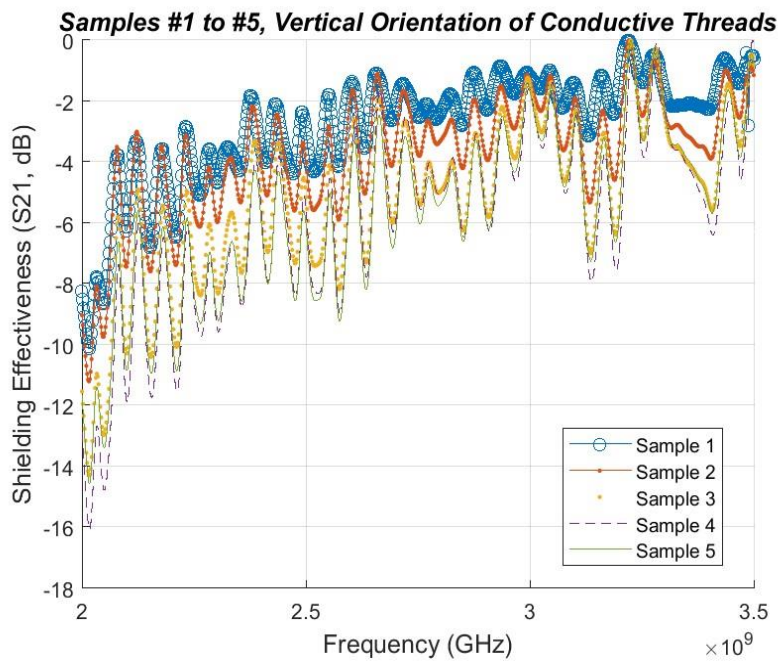
Τα δείγματα πλέκονται στην πλεκτομηχανή STOLL CMS com. Για να είναι ομοιόμορφες οι προδιαγραφές του δείγματος, οι παράμετροι πλέξης για την παραγωγή των δειγμάτων δίνονται στον πίνακα 4.

Πίνακας 4. Προδιαγραφές δείγματος

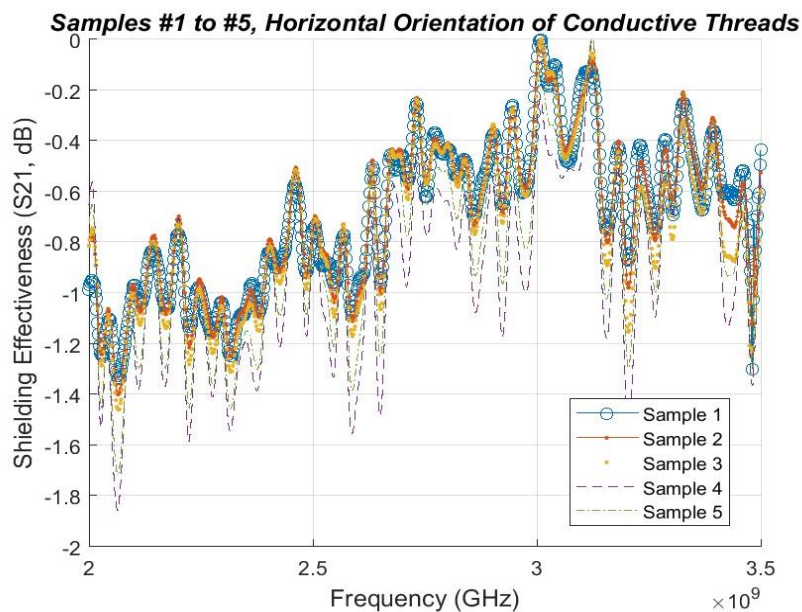
Δείγμα	Δομή πλέξης	Σύνθεση
1	Μονόπλακο	2 /2 (Βαμβακερό/SS)
2	Μονόπλακο	4/2 (Βαμβακερό /SS)
3	Μονόπλακο	8/2 (Βαμβακερό /SS)
4	Μονόπλακο	16/2 (Βαμβακερό /SS)
5	Μονόπλακο	32/2 (Βαμβακερό /SS)

Σε αυτήν την έρευνα έχουν παραχθεί 5 τύποι πλεκτών δειγμάτων στην μηχανή STOLL CMS (H. Stoll GmbH & Co.KG), χρησιμοποιώντας νήματα βαμβακιού και ανοξειδώτου ατσαλιού. Οι αγωγίμες ίνες έχουν εισαχθεί σε ορισμένα χρονικά διαστήματα για να αποκτήσουν διαφορετικές δομές ανοιχτού πλέγματος και κατά συνέπεια σε διαφορετικές πυκνότητες αγωγίμων νημάτων. Σε όλα τα δείγματα υπάρχει μια επανάληψη ανά δύο αγωγίμων ινών, ενώ για τις βαμβακερές ίνες η επανάληψη είναι διαφορετική. Πιο συγκεκριμένα στο δείγμα Νο 1 υπάρχει μια επανάληψη ανά δύο βαμβακερά νήματα μετά από δύο αγωγή νήματα. Στο δείγμα Νο 2 υπάρχει η επανάληψη 4 βαμβακερών νημάτων μετά από 2 αγωγή νήματα. Στο δείγμα Νο 3 η επανάληψη των 8 βαμβακερών ινών γίνεται μετά από τις δύο αγωγίμες ίνες καθώς και στο δείγμα Νο 4 και Νο5 η επανάληψη των βαμβακερών ινών γίνεται μετά από 16 και 32 νήματα αντίστοιχα και 2 αγωγή νήματα.

Η διαπερατότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας για το φάσμα 2,17-3,3Gh των δειγμάτων υφάσματος έχει εξεταστεί σύμφωνα και με τον κατακόρυφο αλλά και με τον κάθετο προσανατολισμό προς την μεγάλη διάσταση του σταυρού κυματοδηγού.



Εικόνα 5. Κατακόρυφος προσανατολισμός των αγωγικών νημάτων



Εικόνα 6. Οριζόντιος προσανατολισμός των αγωγικών νημάτων

Από τις δύο εικόνες είναι εμφανές ότι η χρήση αγωγικών νημάτων ενισχύει την αποτελεσματικότητα της θωράκισης. Τα δείγματα στα οποία η αναλογία αγωγικών νημάτων είναι μεγαλύτερη τα αποτελέσματα θα είναι σαφώς καλύτερα. Όσο

μεγαλύτερη δηλαδή είναι αυτή η αναλογία, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η θωρακισή του. Τα αποτελέσματα ίσχυαν τόσο για τον κατακόρυφο προσανατολισμό όσο και για τον οριζόντιο. Τέλος συγκρίνοντας τους δύο προσανατολισμούς παρατηρήθηκε ότι ο οριζόντιος έχει καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά τη θωράκιση σε σχέση με τον κατακόρυφο.

3.7 Συμπεράσματα-Προτάσεις στην περαιτέρω μελέτη

Η εκπομπή στο χώρο ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας υπό μορφή κυμάτων ονομάζεται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και τα κύματα αυτής ηλεκτρομαγνητικά. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι συγχρονισμένα ταλαντούμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, τα οποία διαχωρίζονται σε χαμηλής και υψηλής συχνότητας και ταλαντώνονται σε κάθετα επίπεδα μεταξύ τους και κάθετα προς τη διεύθυνση διάδοσης. Διαδίδονται στο κενό με ταχύτητα ίση με την ταχύτητα του φωτός ($c=299.792.458$ m/s) αλλά και μέσα στην ύλη με ταχύτητα λίγο μικρότερη από την ταχύτητα του φωτός. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία παίρνει πολλές μορφές, όπως ραδιοκύματα, ακτίνες γάμα, ακτίνες X , κ.ά. Κύριες πηγές της, είναι οι πύργοι, οι κεραιές αλλά και τα κινητά τηλέφωνα. Ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζεται, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι σημαντικότεροι εξ' αυτών είναι η ισχύς της πηγής ακτινοβολίας, αλλά και η συχνότητα ακτινοβολίας.

Δυστυχώς τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερο έχουν αυξηθεί τα κρούσματα μιας επικίνδυνης αρρώστιας που μία από τις αιτίες μπορεί να οφείλεται στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, γνωστή ως καρκίνος ή με άλλα λόγια κακοήθης όγκος ή κακοήθες νεόπλασμα. Από αρχαιοτάτων χρόνων και πιο συγκεκριμένα το 2625 π.Χ. που έκανε την εμφάνισή του, μέχρι και σήμερα έχουνε εμφανισθεί πάνω από 100 είδη καρκίνου και αναλόγως το όργανο που προσβάλλει μπορεί να αντιμετωπισθεί ή ακόμα και να αποβεί μοιραίο για τον άνθρωπο.

Είναι γεγονός ότι όσο πιο κοντά βρίσκεται ένας άνθρωπος σε αυτές τις πηγές, τόσο πιο επιβλαβές είναι γι' αυτόν, ακόμα και όταν βρίσκονται στα επιτρεπτά όρια, αλλά και

τόσο πιο εύκολο και πιθανό είναι να εμφανίσει κάποιες δυσλειτουργίες στον οργανισμό του, που προσβάλλουν κυρίως τον εγκέφαλο αλλά και τη λειτουργία των οργάνων του. Καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του ηθελημένα και μη, εκτίθεται σε αυτήν την ακτινοβολία, ξεκινώντας από τον χώρο εργασίας του καθώς και διάφορους άλλους χώρους που μπορεί να βρεθεί και καταλήγοντας στο υπνοδωμάτιο του. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία εγκυμονεί πολλούς κινδύνους, με σημαντικότερο την υγεία, γι' αυτό πρέπει να υπάρξει θωράκιση όσον αφορά τον τομέα της κλωστοϋφαντουργίας, ώστε να προληφθούν και να αποφευχθούν οι αρνητικές επιπτώσεις και να διασφαλιστεί η ανθρώπινη υγεία.

Ηλεκτρομαγνητική θωράκιση ορίζεται ως η πρακτική της μείωσης του ηλεκτρικού πεδίου, για την επίτευξή της είναι απαραίτητη η χρήση υλικών και όταν συμβαίνει ιδιαίτερα αποτελεσματική για την προστασία του ατόμου από τις ακτινοβολίες. Με τα σύγχρονα υλικά ηλεκτρομαγνητικής θωράκισης, ελαχιστοποιούνται οι υψηλές συχνότητες ακτινοβολιών, με αποτέλεσμα να προλαμβάνουν ενδεχόμενη ύπαρξη νέων πηγών αυτών (π.χ. νέες κεραιές κινητής τηλεφωνίας, modem των γειτόνων κ.ά.). Το βασικότερο υλικό θωράκισης είναι τα υφάσματα, παραδείγματος χάρη οι ασύρματες ακτινοβολίες εισέρχονται στις κατοικίες εύκολα από τα τζάμια, εάν όμως τοποθετηθούν κουρτίνες με μεταλλική επίστρωση, θα εμποδίζεται ένα μέρος της ακτινοβολίας να εισέλθει στο χώρο. Ένα άλλο παράδειγμα είναι άνθρωποι με βηματοδότη ή άνθρωποι σε εργασίες που εκτίθενται στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, πρέπει να φοράνε τα κατάλληλα ρούχα για την προστασία της υγείας τους.

Όσον αφορά τα υφάσματα οι συνηθέστεροι τρόποι πλέξης είναι οι rib 1*1, το μονόπλακο αλλά και το δίπλακο, στα οποία μπορούμε να ενσωματώσουμε τα μεταλλικά νήματα και να επιτευχθεί η θωράκιση. Εξίσου σημαντικό υλικό είναι τα χρώματα, ένα παράδειγμα είναι η επάλειψη ειδικών χρωμάτων με τα οποία βάφονται οι τοίχοι.

Στις μέρες μας πλέον γίνεται καταγισμός της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στον άνθρωπο και γι αυτό το λόγο παρουσιάζεται επιτακτική ανάγκη θωράκισης του, μέσω των τρόπων αντιμετώπισης που αναφέραμε για την διασφάλιση της υγείας του. Στο μέλλον θα πρέπει να δημιουργούνται ολοένα και περισσότερα υφάσματα με

ενσωματωμένα μεταλλικά νήματα είτε για την ενδύματα είτε για τις κουρτίνες, για την προστασία της ανθρώπινης υπόστασης.

Από τα αποτελέσματα είναι εμφανής η προστασία που παρέχει η χρήση αγώγιμων νημάτων στις πλεκτές δομές. Υπήρχε περιορισμός στην ποσότητα των αγώγιμων νημάτων, οπότε δεν μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε πολύ υλικό. Τα αποτελέσματα που πήραμε είναι ενδεικτικά και απαιτούνται περισσότερες μελέτες για λήψη αξιόπιστων αποτελεσμάτων. Τέλος θα ήταν καλό να διερευνηθεί η παρεχόμενη θωράκιση, χρησιμοποιώντας περισσότερους συνδυασμούς αγώγιμων νημάτων και βαμβακιού καθώς και περισσότερες δομές πλέξης. Επιπλέον θα ήταν καλό να διερευνηθεί η επίδραση των αγώγιμων νημάτων στις υπόλοιπες ιδιότητες του υφάσματος.

Βιβλιογραφία

- [1] Λιολιούσης, Κ. (1997). *Βιολογικές επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας*. Αθήνα: Δίαυλος.
- [2] Kraus, J., & Fleisch, D. (2011). *Ηλεκτρομαγνητισμός και εφαρμογές*. Μετάφραση-Επιμέλεια Ν. Μυλωνάς. Θεσσαλονίκη: Τζιόλα.
- [3] Τσιμπούκης, Θ.Δ. (2011). *Ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, Βασική θεωρία και εφαρμογές: Θεμελιώδεις έννοιες και νόμοι του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου*. Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
- [4] Fife, B. (2009). *Health Hazards of Electromagnetic Radiation*. 2nd edition. USA: Piccadilly Books Limited.
- [5] Ng, K.H. (2003). Non-ionizing radiations – Sources, biological effects, emissions and exposures. *Proceedings of the International Conference on Non-Ionizing Radiation at UNITEN, Electromagnetic Fields and Our Health*, 20-22 October 2003, 1-16.
- [6] Stabin, M.G. (2007). *Radiation Protection and Dosimetry, An Introduction to Health Physics*. Berlin: Springer.
- [7] Kaiser, K.L. (2006). *Electromagnetic Shielding*. Boca Raton: CRP Press.
- [8] Gooch, J.W., & Daher, J.K. (2007). *Electromagnetic Shielding and Corrosion Protection for Aerospace Vehicles*. New York: Springer.
- [9] Home Biology (χ.χ.). *Τρόποι προστασίας από ακτινοβολίες κινητών, ασύρματων, κεραιών, πυλώνων κ.α.* [online]. Ανακτήθηκε από <https://www.home-biology.gr/electromagnetic-protection-products/odigossymvoulon-prostasias>
- [10] Ott, H. (2009). *Electromagnetic Compatibility Engineering*. New York: John Wiley & Sons.
- [11] Purcell, E.D., & Morin, D.J. (2013). *Electricity and Magnetism*. 3rd edition. New York: Cambridge University Press.
- [12] Cloude, S. (1995). *An Introduction to Electromagnetic Wave Propagation and Antennas*. New York: Springer Science and Business Media.

- [13] Tipler, P. (2004). *Physics for Scientists and Engineers: Electricity, Magnetism, Light, and Elementary Modern Physics*. 5th edition. New York: W.H. Freeman.
- [14] Reitz, J., Milford, F., & Christy, R. (1992). *Foundations of Electromagnetic Theory*. 4th edition. Boston: Addison Wesley.
- [15] Jackson, J.D. (1999). *Classical Electrodynamics*. 3rd edition. USA: John Wiley & Sons.
- [16] Lucas, J. (2015). *What Is Electromagnetic Radiation?* [online]. Retrieved from <https://www.livescience.com/38169-electromagnetism.html>
- [17] Browne, M. (2013). *Physics for Engineering and Science*. 2nd edition. New York: McGraw Hill/Schaum.
- [18] Meredith, W.J., & Massey, J.B. (2013). *Fundamental Physics of Radiology*. UK: Butterworth-Heinemann.
- [19] WHO (2014). *Electromagnetic fields and public health: mobile phones* [online]. Retrieved from <http://www.who.int/news-room/factsheets/detail/electromagnetic-fields-and-public-health-mobile-phones>
- [20] Electronics Foru (2018). *How Do Mobile Phones Produce Electromagnetic Radiation?* [online]. Retrieved from <https://electronicsforu.com/resources/learn-electronics/mobile-phones-electromagnetic-radiation>
- [21] Vázquez, M., & Hanslmeier, A. (2006). *Ultraviolet Radiation in the Solar System*. The Netherlands: Springer.
- [22] Iqbal, M. (1983). *An Introduction to Solar Radiation*. Ontario: Academic Press.
- [23] Schmitt, R. (2000). Understanding electromagnetic fields and antenna radiation takes (almost) no math. *Electromagnetic Fields Design Feature*, 3, 77-88.
- [24] European Commission (2006). *Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR), Preliminary Opinion on Possible Effects of Electromagnetic Fields (EMF) on Human Health*. UK: European Commission.
- [25] Zamanian, A., & Hardiman, C. (2005). Electromagnetic Radiation and Human Health: A Review of Sources and Effects. *High Frequency Electronics*, 7, 16-26.

- [26] Genuis, S.J. (2007). *Fielding a current idea: exploring the public health impact of electromagnetic radiation*. The Royal Institute of Public Health: Elsevier.
- [27] Mahajan, A., & Singh, M. (2012). Human Health and Electromagnetic Radiations. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, 1(6), 1-8.
- [28] Ghezel-Ahmadi, D., Engel, A., Weidemann, J., Budnik, L.T., et al. (2010). Heavy metal exposure in patients suffering from electromagnetic hypersensitivity. *Science in Total Environment*, 408(4), 774-778.
- [29] Mortazavi, S.M., Daiee, E., Yazdi, A., et al. (2008). Mercury release from dental amalgam restorations after magnetic resonance imaging and following mobile phone use. *Pakistan Journal of Biology and Science*, 11(8), 1142-1146.
- [30] Abdel-Rassoul, G., El-Fateh, O.A., Salem, M.A., Michael, A., et al. (2007). Neurobehavioral effects among inhabitants around mobile phone base stations. *Neurotoxicology*, 28(2), 434-440.
- [31] Sauter, C., Dorn, H., Bahr, A., et al. (2011). Effects of exposure to electromagnetic fields emitted by GSM 900 and WCDMA mobile phones on cognitive function in young male subjects. *Bioelectromagnetics*, 32(3), 179-190.
- [32] Mayer-Wagner, S., Passberger, A., Sievers, B., et al. (2011). Effects of low frequency electromagnetic fields on the chondrogenic differentiation of human mesenchymal stem cells. *Bioelectromagnetics*, 32(4), 283-290.
- [33] Zhang, D., Pan, X., Ohno, S., et al. (2011). No effects of pulsed electromagnetic fields on expression of cell adhesion molecules (integrin, CD44) and matrix metalloproteinase-2/9 in osteosarcoma cell lines. *Bioelectromagnetics*, 32(6), 463-473.
- [34] Lin, H.Y., & Lin, Y.J. (2011). In vitro effects of low frequency electromagnetic fields on osteoblast proliferation and maturation in an inflammatory environment. *Bioelectromagnetics*, 32(7), 552-560.
- [35] Okudan, B., Keskin, A.U., Aydin, M.A., et al. (2006). DEXA analysis on the bones of rats exposed in utero and neonatally to static and 50 Hz electric fields. *Bioelectromagnetics*, 27(7), 589-592.

- [36] Tenorio, B.M., Jimenez, G.C., Morais, R.N., et al. (2011). Evaluation of testicular degeneration induced by low-frequency electromagnetic fields. *Journal of Applied Toxicology*, 32(3), 210-218.
- [37] Michelozzi, P., Capon, A., Kirchmayer, U., et al. (2002). Adult and childhood leukemia near a high-power radio station in Rome, Italy. *American Journal of Epidemiology*, 155 (12), 1096-1103.
- [38] Hocking, B., Gordon, I.R., Grain, H.L., & Hatfield, G.E. (1996). Cancer incidence and mortality and proximity to TV towers. *Medical Journal of Australia*, 165 (11-12), 601-605.
- [39] Baldi, I., Coureau, G., Jaffre, A., et al. (2012). Occupational and Residential Exposure to Electromagnetic Fields and Risk of Brain Tumours in adults: a case-control study in Gronde, France. *International Journal of Cancer*, 130(3), 743.
- [40] Bawin, S.M., Kaczmarek, L.K., & Adey, W.R. (1975). Effects of modulated VHF fields on the central nervous system. *Annual New York Academy of Science*, 247, 74-81.
- [41] Blackman, C.F., Elder, I.A., Weil, C.M., et al. (1979). Induction of calcium ion efflux from brain tissue by radiofrequency radiation: effects of modulation frequency and field strength. *Radio Science*, 14, 93-101.
- [42] Blackman, C.F., Benane, S.G., Elder, J.A., et al. (1980). Induction of calcium ion efflux from brain tissue by radiofrequency radiation: effect of sample number and modulation frequency on the power-density window. *Bioelectromagnetics*, 1, 35-62.
- [43] Adey, W.R. (1993). Biological effects of electromagnetic fields. *Journal of Cell Biochemistry*, 5, 410-417.
- [44] Preece, A.W., Iwi, G., Davies-Smith, A., et al. (1999). Effect of a 915MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man. *International Journal of Radiology and Biology*, 75, 447-456.
- [45] Koivisto, M., & Revonsuo, A. (2000). Effects of 902MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans. *Neuroreport*, 11, 413-415.
- [46] Koivisto, M., & Krause, C.M. (2000). The effects of electromagnetic field emitted by GSM phones on working memory. *Neuroreport*, 8, 1641-1643.

- [47] Taki, M., & Watanabe, S. (2001). Biological and health effects of exposure to electromagnetic field from mobile communications system. *IATSS Research*, 25(2), 40-50.
- [48] Sarkar, S., Ali, S., & Behari, J. (1994). Effect of low power microwave on the mouse genome: a direct DNA analysis. *Mutative Research*, 320, 141-145.
- [49] Lai, H., & Singh, N.P. (1995). Acute low-intensity microwave exposure increases DNA single-strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics*, 16, 207-218.
- [50] Lai, H., & Singh, N.P. (1996). Single- and double-strand DNA breaks in rat brain cells after acute exposure to radiofrequency electromagnetic radiation. *International Journal of Radiation and Biology*, 513-521.
- [51] Moulder, J.E., Erdreich, L.S., Malyapa, R.S., et al. (1999). Cell Phones and Cancer: What Is the Evidence for a Connection? *Radiation Research*, 151, 513-531.
- [52] Malyapa, R.S. (1998). DNA damage in rat brain cells after in vivo exposure to 2,450MHz electromagnetic radiation and various methods of euthanasia. *Radiation Research*, 149, 637-645.
- [53] Imaida, K., Taki, M., Yamaguchi, T., et al. (1998). Lack of promoting effects of the electromagnetic near-field used for cellular phones (929.2MHz) on rat liver carcinogenesis in a medium-term liver bioassay. *Carcinogenesis*, 19, 311-324.
- [54] Imaida, K., Taki, M., Watanabe, Y., et al. (1998). The 1.5GHz electromagnetic near-field used for cellular phones does not promote rat liver carcinogenesis in a medium term liver bioassay. *Japanese Journal of Cancer Research*, 89, 995-1005.
- [55] Adey, W.R. (1999). Spontaneous and Nitrosourea-Induced Primary Tumors of the Central Nervous System in Fischer 344 Rats Chronically Exposed to 836MHz Modulated Microwaves. *Radiation Research*, 152, 293-302.
- [56] Wdowiak, A., Mazurek, P.A., Wdowiak, A., & Bojar, I. (2017). Effect of electromagnetic waves on human reproduction. *Annual Agriculture and Environmental Medicine*, 24(1), 13–18.

- [57] Agarwal, A., Desai, N.R., Makker, K., et al. (2009). Effects of radiofrequency electromagnetic waves (RF-EMW) from cellular phones on human ejaculated semen: an in vitro pilot study. *Fertility and Sterility*, 92(4), 1318–1325.
- [58] Makker, K., Varghese, A., Desai, N.R., Mouradi, R., & Agarwal, A. (2009). Cell phones: modern man's nemesis? *Reproduction and Biomedicine Online*, 18(1), 148–157.
- [59] Szkodziak, P., Wozniak, S., Czuczwar, P., et al. (2016). Infertility in the light of new scientific reports – focus on male factor. *Annual Agriculture and Environmental Medicine*, 23(2), 227-230.
- [60] Walleczek, J. (1992). Electromagnetic field effects on cells of the immune system: the role of calcium signaling. *FASEB Journal*, 6(13), 3177–3185.
- [61] Ye, L.L., Suo, S.Y., Cao, W.L., et al. (2007). Radar radiation damages sperm quality. *Zhonghua Nan Ke Xue*, 13(9), 801–803.
- [62] Ding, X.P., Yan, S.W., Zhang, N., et al. (2004). A crosssectional study on nonionizing radiation to male fertility. *Zhonghua Liu Xing Bing Xue Za Zhi*, 25(1), 40–43.
- [63] Weyandt, T.B., Schrader, S.M., Turner, T.W., & Simon, S.D. (1996). Semen analysis of military personnel associated with military duty assignments. *Reproduction and Toxicology*, 10(6), 521-528.
- [64] Falahati, S.A., Anvari, M., & Khalili, M.A. (2011). Effect of combined magnetic fields on human sperm parameters. *Iranian Journal of Radiation Research*, 9(3), 195–200.
- [65] Łopucki, M., Jakiel, G., Bakalczuk, S., et al. (2005). Influence of alternating magnetic field with magnetic induction 0.5mT and frequency 50Hz on human spermatozoa in-vitro. *International Journal of Andrology*, 28(1), 106-115.
- [66] Gul, A., Celebi, H., & Uğraş, S. (2009). The effects of microwave emitted by cellular phones on ovarian follicles in rats. *Archives in Gynecology Obstetrics*, 280(5), 729–733.
- [67] Roshangar, L., Hamdi, B.A., Khaki, A.A., et al. (2014). Effect of lowfrequency electromagnetic field exposure on oocyte differentiation and follicular development. *Advanced Biomedicine Research*, 3, 76.
- [68] Sagioglou, N.E., Manta, A.K., Giannarakis, I.K., et al. (2015). Apoptotic cell death during *Drosophila* oogenesis is differentially increased by

electromagnetic radiation depending on modulation, intensity and duration of exposure. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 1, 1-14.

- [69] Delgado, J.M., Leal, J., Monteagudo, J.L., & Gracia, M.G. (1982). Embryological changes induced by weak, extremely low frequency electromagnetic fields. *Journal of Anatomy*, 134(3), 533–551.
- [70] Lim, J.H., McCullen, S.D., Piedrahita, J.A., Lobo, E.G., & Olby, N.J. (2013). Alternating current electric fields of varying frequencies: effects on proliferation and differentiation of porcine neural progenitor cells. *Cell Reprogram*, 15(5), 405–412.
- [71] Liu, C., Yu, J., Yang, Y., et al. (2013). Effect of 1 mT sinusoidal electromagnetic fields on proliferation and osteogenic differentiation of rat bone marrow mesenchymal stromal cells. *Bioelectromagnetics*, 34(6), 453–464.
- [72] Nazıroğlu, M., Yüksel, M., Köse, S.A., & Özkaya, M.O. (2013). Recent reports of Wi-Fi and mobile phone-induced radiation on oxidative stress and reproductive signaling pathways in females and males. *Journal of Membranes in Biology*, 246(12), 869–875.
- [73] Wdowiak, A., Lewicka, M., Sulima, M., et al. (2012). Praca przy komputerze i korzystanie z telefonu komórkowego a dobrostan noworodka. *Problems in Higher Epidemiology*, 93(4), 698–701.
- [74] Łopucki, M., Łańcut, M., Rogowska, W., et al. (2003). Evaluation of the morphology of the human placental cotyledon following dual in vitro perfusion in variable magnetic field. *Gynecology Policy*, 74(10), 1187–1193.
- [75] Łopucki, M., Rogowska, W., Pietruszewski, S., et al. (2004). Oxygen transfer and consumption in human placenta exposed to variable magnetic fields in vitro. *Gynecology Policy*, 75(3), 177–186.
- [76] Łopucki, M., Czekierdowski, A., Rogowska, W., & Kotarski, J. (2004). The effect of oscillating low intensity magnetic field on the Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺, and Mg⁺⁺ concentrations in the maternal and fetal circulation of the dually perfused human placental cotyledon. *Bioelectromagnetics*, 25(5), 329–337.
- [77] Boice, J.D.R., & Tarone, R.E. (2011). Cell phones, cancer, and children. *Journal of the National Cancer Institute*, 103 (16), 1211–1213.

- [78] WHO (2018). *What are electromagnetic fields?* [online]. Retrieved from <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/en/index1.html>
- [79] Özgür, A., Tümkaya, L., Terzi, S., et al. (2015). Effects of chronic exposure to electromagnetic waves on the auditory system. *Acta Otolaryngologica*, 135(8), 765-770.
- [80] Morales, J., Garcia, M., Perez, C., et al. (2009). Low frequency electromagnetic radiation and hearing. *Journal of Laryngology and Otology*, 123(11), 1204-1211.
- [81] Koulougliotis, D., Nikolopoulos, D., Gorgolis, N., et al. (2018). Effect of the Operation Mode and Distance on the Electromagnetic Radiation Emitted by Mobile Phone Devices in Greece: A Pilot Study. *Journal of Civil & Environmental Engineering*, 8(1), 300-309.
- [82] Silva, D.F.S., Barros, W.R., Almeida, M.D.C.C.D., & Rêgo, M.A.V. (2015). Exposure to non-ionizing electromagnetic radiation from mobile telephony and the association with psychiatric symptoms. *Cadernos de Saúde Pública*, 31(10), 2110-2126.
- [83] Santini, R., Santini, P., Danze, J.M., et al. (2002). Enquete sur la sante de riverains de stations relais de telephonie mobile: II. Incidences de l'age des sujets, de la duree de leur exposition et de leur position par rapport aux antennes et autres sources electromagnetiques. *Pathology and Biology (Paris)*, 51, 412-415.
- [84] Navarro, E.A., Segura, J., Portolés, M., & Mateo, C.G. (2003). The microwave syndrome: a preliminary study in Spain. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 22,161-169.
- [85] Bortkiewicz, A., Gadzicka, E., Szykowska, A., et al. (2015). Subjective complaints of people living near mobile phone base/stations in Poland. *International Journal of Occupied Medicine in Environmental Health*, 25, 31-40.
- [86] Abdel-Rassoul, G., El-Fateh, O.A., Salem, M.A., et al. (2006). Neurobehavioral effects among inhabitants around mobile phone base/stations. *Neurotoxicology*, 28, 434-440.
- [87] Hayt, W., & Buck. A. (2008). *Eletromagnetismo*. São Paulo: McGraw Hill.
- [88] Neuert, M.R. (2012). *Possible Safety Distances to Consider for EMF Sources*

- [online]. Retrieved from <https://emfinfo.org/guidelines-distance.html>
- [89] Wang, J., Ma, J., Zhi, H., & Tang, H. (2017). Preparation and Electromagnetic Shielding Effectiveness of Metal Fibers/Polymer Composite. *Rare Metal Materials and Engineering*, 46(1), 73-77.
- [90] Geetha, S., Satheesh-Kumar, K.K., Rao, C.R.K., Vijayan, M., & Trivedi, D.C. (2009). EMI shielding: Methods and materials—A review. *Journal of Applied Polymer Science*, 112(4), 2073-2086.
- [91] Thomassin, J.M., Jérôme, C., Pardoën, T., Bailly, C., Huynenb, I., & Detrembleur, C. (2013). Polymer/carbon based composites as electromagnetic interference (EMI) shielding materials. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 74(7), 211-232.
- [92] Dhawan, S.K., Singh, N., & Rodrigues, D. (2003). Electromagnetic shielding behaviour of conducting polyaniline composites. *Science and Technology of Advanced Materials*, 4(2), 105-113.
- [93] Su, C.I., & Chern, J.T. (2004). Effect of Stainless Steel-Containing Fabrics on Electromagnetic Shielding Effectiveness. *Textile Research Journal*, 74(1), 51-54.
- [94] Cresswell, L., & Watkins, S. (2002). *Textiles Technology Student Book*. GCSE Design & Technology for Edexcel. London: Heinemann Educational Publishers.
- [95] Cooklin, G., Hayes, S.G., & McLoughlin, J. (2006). *Introduction to Clothing Manufacture*. 2nd edition. New York: John Wiley and Sons.
- [96] Home Biology (χ.χ.). *Υφάσματα ηλεκτρομαγνητικής θωράκισης (για κουρτίνες, καλύμματα κ.α.)* [online].
- [97] Radiansa Consulting (2011). *Architectural shielding for protection against high frequency electromagnetic radiation* [online]. Retrieved from <http://www.radiansa.com/electromagnetic/microwave-radiofrequency/hfradiation-shielding.htm>
- [98] Emrich, R., & Wang, A. (2009). *Low frequency magnetic shielding: An integrated solution, Innovative direct coating technique as an alternative to conventional foils* [online]. Retrieved from

https://www.integran.com/hsfs/hub/212577/file-12869370-pdf/documents/nanovate_em_whitepaper_-_interference_technology_magazine_may_2009_s.pdf

[99] Singh, A.P., Mishra, M., & Dhawan, S.M. (2015). Conducting Multiphase Magnetic Nanocomposites for Microwave Shielding Application. In J.M. Gonzalez-Estevez (ed.), *Nanomagnetism* (pp.246-277). UK: One Central Press.

[101] G. Priniotakis, The effects of different knitting structure of conductive yarns on electromagnetic shielding effectiveness AITAE 2018, 5 Σεπτεμβρίου 2018, Μυτιλήνη. Retrieved from <https://aegeanconference.org/content/program> .

[102] Ε. Γράβας, Τεχνολογία Πλεκτικής, Αθήνα 2008