

# Τακτικές εφαρμογές ραδιοεπικοινωνιών συσκευών που φοριούνται

ΙΩΑΝΝΗΣ ΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΣ ΑΜ 2008145  
Πτυχιακή Εργασία

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΙΩΑΝΝΗΣ ΠΙΚΡΑΜΜΕΝΟΣ, ΔΡ. ΜΗΧ. ΕΜΠ

ΣΠΑΡΤΗ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2018

## ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ

"Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ενυπογράφως ότι είμαι αποκλειστικός συγγραφέας της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας, για την ολοκλήρωση της οποίας κάθε βοήθεια είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται λεπτομερώς στην εργασία αυτή. Έχω αναφέρει πλήρως και με σαφείς αναφορές, όλες τις πηγές χρήσης δεδομένων, απόψεων, θέσεων και προτάσεων, ιδεών και λεκτικών αναφορών, είτε κατά κυριολεξία είτε βάση επιστημονικής παράφρασης.

Αναλαμβάνω την προσωπική και ατομική ευθύνη ότι σε περίπτωση αποτυχίας στην υλοποίηση των ανωτέρω δηλωθέντων στοιχείων, είμαι υπόλογος έναντι λογοκλοπής, γεγονός που σημαίνει αποτυχία στην Πτυχιακή μου Εργασία και κατά συνέπεια αποτυχία απόκτησης του Τίτλου Σπουδών, πέραν των λοιπών συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων.

Δηλώνω, συνεπώς, ότι αυτή η Πτυχιακή Εργασία προετοιμάστηκε και ολοκληρώθηκε από εμένα προσωπικά και αποκλειστικά και ότι, αναλαμβάνω πλήρως όλες τις συνέπειες του νόμου στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δε μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής άλλης πνευματικής ιδιοκτησίας."

Όνομα και Επώνυμο Συγγραφέα (Με Κεφαλαία): ΙΩΑΝΝΗΣ ΣΟΥΡΟΠΟΥΛΟΣ

Υπογραφή (Ολογράφως, χωρίς μονογραφή): ΣΟΥΡΟΠΟΥΛΟΣ

Ημερομηνία (Ημέρα – Μήνας – Έτος): 25/05/2018



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κ. Πικραμμένο Ιωάννη κυρίως για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και την υπομονή που έκανε κατά τη διάρκεια

υλοποίησης της πτυχιακής εργασίας. Όπως επίσης και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του, για την επίλυση διάφορων θεμάτων.

Θα ήθελα επίσης να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στους γονείς μου, οι οποίοι στήριξαν τις σπουδές μου με διάφορους τρόπους, φροντίζοντας για την καλύτερη δυνατή μόρφωση μου.

## Πίνακας περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	6
1.1 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ .....	6
1.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΡΑΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΚΕΡΑΙΩΝ.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	11
2.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ SAR ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ ΚΛΑΣΙΚΩΝ ΚΕΡΑΙΩΝ ΚΑΙ ΚΕΡΑΙΩΝ –ΓΙΛΕΚΩΝ.....	12
2.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΕΡΑΙΩΝ ΠΟΥ ΦΟΡΙΟΥΝΤΑΙ.....	13
2.2.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ.....	13
2.2.2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	21
2.3 ΜΗΚΗ ΚΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΕΡΑΙΕΣ ΠΟΥ ΦΟΡΙΟΥΝΤΑΙ.....	21
2.3.1 VHF ΚΑΙ ΚΕΡΑΙΕΣ ΠΟΥ ΦΟΡΙΟΥΝΤΑΙ.....	21
2.3.2 UHF ΚΑΙ ΚΕΡΑΙΕΣ ΠΟΥ ΦΟΡΙΟΥΝΤΑΙ.....	27
3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	30
3.1 ΦΟΡΗΤΕΣ ΚΕΡΑΙΕΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΕΣ ΓΙΑ ΑΛΕΞΙΣΦΑΙΡΑ ΓΙΛΕΚΑ .....	31
3.2 ΦΟΡΗΤΕΣ ΚΕΡΑΙΕΣ ΧΑΜΗΛΟΥ ΟΠΤΙΚΟΥ ΠΡΟΦΙΛ.....	31
3.3 ΦΟΡΗΤΕΣ ΚΕΡΑΙΕΣ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΩΣΗΣ .....	33
3.4 ΚΕΡΑΙΕΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	34
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	37
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	38

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή αρχικά επικεντρώνεται στο κομμάτι των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και στην λειτουργία τους και πως αυτή βρίσκει εφαρμογή σε κεραιές που μπορούν να φορευθούν όπως οι κεραιές-γιλέκα. Στην εισαγωγή γίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή στην ανακάλυψή τους και τις αρχικές χρήσεις τους ως μέσο επικοινωνίας. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση και ανάλυση των νόμων και εξισώσεων της επιστήμης της φυσικής όπως αυτές διέπουν τη φύση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με ταυτόχρονη παρατήρηση των ιδιοτήτων και συμπεριφοράς τους. Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξηγηθεί πώς επιτυγχάνεται η μετάδοση σήματος και θα αναλυθεί η συμπεριφορά και τα χαρακτηριστικά του σήματος για κάθε φάσμα συχνοτήτων. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή των φορητών κεραιών και της εξέλιξής τους σε βάθος χρόνου. Φορητή κεραία είναι ουσιαστικά οποιαδήποτε κεραία που έχει σχεδιαστεί ειδικά για να λειτουργεί ενώ φοριέται. Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν οι προκλήσεις που αντιμετωπίζει τέτοιου είδους τεχνολογία όπως η εγγύτητα στο ανθρώπινο σώμα που οδηγεί σε απώλειες ενέργειας των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων καθώς και το μικρό μέγεθος που θα πρέπει να έχουν τέτοιου είδους συσκευές λαμβάνοντας υπόψη τα υλικά κατασκευής. Γίνεται παρουσίαση και ανάλυση των μαθηματικών εξισώσεων και των κανόνων της φυσικής που καθορίζουν την απόδοση των κεραιών που φοριούνται. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι εφαρμογές αυτών των συστημάτων σε στρατιωτικούς εξοπλισμούς και πώς τα συστήματα αυτά προσαρμόζουν τον τρόπο κατασκευής τους ανάλογα με τη χρήση και τον σκοπό που επιτελούν. Παρουσιάζονται δοκιμασίες προσομοίωσης σε πολλαπλές θέσεις της κεραιάς και του ανθρώπινου σώματος για διάφορα μεγέθη όπως ο δείκτης SAR. Πραγματοποιείται σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των συστημάτων κεραιών που φοριούνται (όπως τα γιλέκα-κεραίες) και των σύννηθων φορητών κεραιών. Τέλος εξάγονται συμπεράσματα από το σύνολο της έρευνας παρουσιάζονται οι περιορισμοί της τεχνολογίας αυτής και προτείνονται τρόποι βελτίωσης.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μια σημαντική εφαρμογή των ηλεκτρομαγνητικών ερευνών ήταν οι ραδιοεπικοινωνίες, που αναπτύχθηκαν με βάση το έργο του J.C. Maxwell. Ο ίδιος ο Maxwell δεν έδειχνε ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τεχνολογικές εφαρμογές. Τα πειραματικά θεμέλια της ασύρματης τηλεγραφίας τέθηκαν από τη δουλειά του H. Hertz. Στόχος του Hertz ήταν η επιβεβαίωση της πρόβλεψης του Maxwell ότι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα μεταδίδονται με την ταχύτητα του φωτός. Η συσκευή που επινόησε, για να πραγματοποιήσει αυτό το στόχο, αποτελούνταν από ένα επαγωγικό πηνίο, στο οποίο δημιουργούσε σπινθήρες, και από ένα συρμάτινο βρόχο, και λειτουργούσε ως ανιχνευτής των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Η δημιουργία σπινθήρα είχε ως αποτέλεσμα την εμφάνιση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, τα οποία όταν έφταναν στο βρόχο, προκαλούσαν την ταλάντωση των φορτίων του βρόχου και τη δημιουργία ενός σπινθήρα στο διάκενο. Ο Hertz δεν ενδιαφέρθηκε για τις πρακτικές εφαρμογές της ανακάλυψής του.

Όμως, το 1892 ο Άγγλος φυσικός Sir W. Crookes δημοσίευσε ένα εκλαϊκευτικό άρθρο για τις προοπτικές που άνοιγε η ανακάλυψη του Hertz. Μία από αυτές, και μάλιστα άμεσα υλοποιήσιμη, ήταν η δημιουργία ενός ασύρματου τηλεγραφικού συστήματος. Το 1892 ήταν χρονιά-σταθμός στην ανάπτυξη της ασύρματης επικοινωνίας.

Έως τότε η πειραματική έρευνα γύρω από τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είχε ως κύριο στόχο τον έλεγχο της θεωρίας του Maxwell. Από εκείνη τη χρονιά και μετά, η πειραματική έρευνα επικεντρώθηκε στην εφεύρεση και στη βελτίωση ασύρματων συστημάτων επικοινωνίας.

Παρόμοια πειράματα με του Hertz, περίπου την ίδια εποχή, έκανε ο Άγγλος φυσικός Sir O. Lodge (Λοντζ, 1851-1940). Το 1894 στην ετήσια συνάντηση της Βρετανικής Εταιρείας για την Προαγωγή της Επιστήμης κατάφερε να στείλει σήματα σε μια απόσταση εξήντα μέτρων. Όμως ο Lodge δεν είχε επιχειρηματικό πνεύμα και δεν ανέπτυξε εμπορικά την ιδέα της ασύρματης επικοινωνίας. Αυτό έγινε από τον G. Marconi (Μαρκόνι, 1874-1937). Το 1894 με τη βοήθεια του A. Righi (Ρίγκι), φυσικού στο Πανεπιστήμιο της Bologna, κατασκεύασε μια διάταξη για την ασύρματη μετάδοση σημάτων. Ένα χρόνο αργότερα πέτυχε να στείλει ένα σήμα σε απόσταση 1,5 μιλίου. Η γνώση φυσικής που είχε ήταν

περιορισμένη και οι έρευνές του δε βασίζονταν σε θεωρητικές γνώσεις αλλά σε εμπειρικές δοκιμές, οι οποίες, - ανάμεσα σε άλλα - οδήγησαν και στη σχεδίαση κεραιών.

Έχοντας πειστεί ότι η εφεύρεσή του ήταν εμπορικά εκμεταλλεύσιμη, πήγε στην Αγγλία το 1896 και κατοχύρωσε, μέσω μιας πατέντας, τη μέθοδο που είχε επινοήσει για την ασύρματη μετάδοση σημάτων. Το 1897 ίδρυσε την Εταιρεία Ασύρματου Τηλέγραφου και Σήματος. Η αγορά στην οποία απευθυνόταν αυτή η εταιρεία ήταν αρχικά ο βρετανικός στρατός και το βρετανικό ναυτικό, και στη συνέχεια η ναυτιλιακή βιομηχανία - προφανώς επειδή η ραδιοεπικοινωνία έδινε τη δυνατότητα επικοινωνίας του πλοίου με την ακτή.

Αυτό που κυρίως απασχολούσε τον Marconi ήταν η αύξηση της απόστασης μετάδοσης ενός σήματος. Το 1900 η μέγιστη απόσταση μετάδοσης ενός σήματος ήταν 150 μίλια. Ένα χρόνο αργότερα με έναν πομπό μεγάλης ισχύος και με πολύ μεγάλες κεραιές μπόρεσε να στείλει σήματα που διέσχισαν τον Ατλαντικό Ωκεανό.

Αν και Αν και στην περίπτωση του Marconi η τεχνολογική πρόοδος δε βασίστηκε άμεσα στην επιστημονική γνώση, το 1909 απονεμήθηκε ο' αυτόν και στο Γερμανό F. Braun (Μπράουν) το Νόμπελ φυσικής, επειδή, σύμφωνα με τα λόγια της επιτροπής, είχε «την ικανότητα να διαμορφώσει το όλο πράγμα [το έργο των Faraday, Maxwell και Hertz] σε ένα σύστημα πρακτικό και εύχρηστο».

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### 1.1 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ<sup>1</sup>

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία συνίσταται από κύματα ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας τα οποία ακτινοβολούνται στον ελεύθερο χώρο. **Ηλεκτρομαγνητικό πεδίο** ( κύμα - ακτινοβολία ) είναι ένα σύνθετο πεδίο που προκύπτει από την ταυτόχρονη παρουσία στον χώρο ενός ηλεκτρικού και ενός μαγνητικού πεδίου

Πηγές του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου είναι :

#### -σε μικροσκοπικό επίπεδο

- τα επιταχυνόμενα ή επιβραδυνόμενα φορτισμένα σωματίδια
- τα ταλαντούμενα φορτισμένα σωματίδια

---

<sup>1</sup> Curt A. Levis, Joel T. Johnson, Fernando L. Teixeira, Radiowave propagation, physics and applications



- τα περιφερόμενα ή αυτοπεριστρεφόμενα φορτισμένα σωματίδια (μη ομαλές κινήσεις).

#### **-σε μακροσκοπικό επίπεδο**

- ρευματοφόροι αγωγοί κάθε τύπου( δηλαδή ευθύγραμμοι, κυκλικοί ,σπειροειδείς ,σωληνειδείς αγωγοί )με μεταβλητή ένταση ρεύματος
- ρευματοφόροι αγωγοί κάθε τύπου μετατοπιζόμενοι , ταλαντούμενοι ή περιστρεφόμενοι.

Οι εξισώσεις του Maxwell μας παρέχουν τη σχέση μεταξύ ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου, περιγράφουν τις πηγές που δημιουργούν τα πεδία, και μας επιτρέπουν να καθορίσουμε τον τρόπο με τον οποίο αυτά τα πεδία (ραδιοκύματα) αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον. Εδώ κρίνεται αναγκαίο να περιγράψουμε τους νόμους του Michael Faraday (1791-1867), του André-Marie Ampere (1775-1836) και του Carl Friedrich Gauss (1777-1855), μαζί με τις σχέσεις συνέχειας. Τα τέσσερα μεγέθη διανυσματικού πεδίου με τα οποία θα ασχοληθούμε στη συνέχεια είναι το ηλεκτρικό πεδίο  $E$  (V / m), το πεδίο ηλεκτρικής μετατόπισης  $D$  (C / m<sup>2</sup>), η ένταση μαγνητικού πεδίου  $H$  (A / m) και η μαγνητική επαγωγή  $B$ (Tesla). Οι εξισώσεις αρχικά γράφονται με τη χρονική τους διακύμανση και ισχύουν χωρίς περιορισμούς εύρους ζώνης. Οι πηγές είναι η πυκνότητα ρεύματος  $J$  (A / m<sup>2</sup>) και η πυκνότητα φορτίου  $\rho$  (C / m<sup>3</sup>), οι οποίες ακολουθούν τις εξισώσεις Maxwell με τον ακόλουθο τρόπο. Ο νόμος της επαγωγής, που ανακαλύφθηκε πειραματικά από τον Faraday, δηλώνει ότι ο χρονικός ρυθμός μεταβολής της μαγνητικής επαγωγής δίνεται από το στροβιλισμό του ηλεκτρικού πεδίου

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

Ο νόμος του Αμπερ, που γενικεύτηκε από τον Maxwell για να συμπεριλάβει το ρεύμα αγωγιμότητας ή μεταφοράς  $J$ , δηλώνει ότι ο ρυθμός μεταβολής του ηλεκτρικού πεδίου μετατόπισης είναι ίσος με το στροβιλισμό της μαγνητικής έντασης

Ο ηλεκτρικός νόμος του Gauss συνδέει την απόκλιση του πεδίου ηλεκτρικής μετατόπισης με την πυκνότητα του φορτίου:

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$$

Ο μαγνητικός νόμος του Gauss εκφράζει τη συνέχεια της μαγνητικής ροής:

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

Μπορούμε να δείξουμε ότι μόνο έξι ανεξάρτητες κλιμακωτές εξισώσεις μπορούν να γραφτούν από τις τέσσερις σχέσεις του Maxwell. Υποθέτουμε στην επίλυση προβλημάτων ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που δίδονται οι πηγές ρεύματος και φορτίου και σχετίζονται με την εξίσωση συνέχειας:

$$\nabla \cdot \vec{J} = \frac{\partial \rho}{\partial t}$$

Η εξίσωση συνέχειας δηλώνει ότι η ροή του ρεύματος από ένα διαφορικό όγκο ισούται με το ρυθμό μείωσης του ηλεκτρικού φορτίου στον όγκο. Δηλαδή, το ηλεκτρικό φορτίο διατηρείται.

Υπάρχουν 12 μεταβλητές βαθμωτού πεδίου στις εξισώσεις Maxwell, μία για κάθε μία από τις τρεις συνιστώσες των  $E$ ,  $H$ ,  $\Delta$  και  $B$ , αλλά υπάρχουν μόνο 6 ανεξάρτητες εξισώσεις. Επομένως, η εξίσωση του Maxwell είναι ανεπαρκής. Είναι απαραίτητες έξι επιπλέον κλιμακωτές εξισώσεις, γνωστές ως συνταγματικές σχέσεις. Σε κενό ή ελεύθερο χώρο, αυτές είναι:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}$$

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$$

όπου  $\epsilon_0$  (F / m) είναι η διαπερατότητα και  $\mu_0$  (H / m) είναι η διαπερατότητα του μέσου.

## 1.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΡΑΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΚΕΡΑΙΩΝ

Οι όροι και οι ορισμοί που συναντώνται συνήθως στη μελέτη των κεραιών και της επικοινωνίας ραδιοκυμάτων εμφανίζονται στο πρότυπο του Ινστιτούτου Ηλεκτρολόγων Ηλεκτρονικών και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (Institute of Electrical and Electronics Engineers-IEEE) και του Ευρωπαϊκού Ινστιτούτου Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (European Telecommunications Standards Institute-ETSI). Εδώ θα παρουσιάσουμε μερικές από τις παραμέτρους και τους ορισμούς που είναι ιδιαίτερα σχετικοί με το αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

Ο συντελεστής κεραιάς ( Antenna Factor-AF) σε μια κεραία λήψης είναι η αναλογία της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου προς την τάση κατά μήκος της τελικής αντίστασης που συνδέεται με την κεραία. Με ευρεία χρήση στον τομέα των τηλεπικοινωνιών, ο συντελεστής κεραιάς δηλώνεται μερικές φορές υπό συνθήκες όπου το πεδίο που παράγεται στην κεραία δεν είναι ομοιόμορφο κατά μήκος της κεραιάς. Επομένως, ο συντελεστής κεραιάς, με κοινή χρήση, είναι μια παράμετρος που εξαρτάται από το σημείο μέτρησης.

Η απόδοση της φωτεινής κεραιάς, που αποκαλείται και η απόδοση φωτισμού του ανοίγματος, είναι η αναλογία της κατευθυντικότητας  $D$  μιας κεραιάς με την κατευθυντικότητα διεύθυνσης αναφοράς,

$$D_{ref} = \frac{4\pi A_{area}}{\lambda^2}$$

Όπου  $\lambda$  το μήκος κύματος και  $A_{area}$  η περιοχή ανοίγματος

Οι λοβοί της μορφής κεραιάς ορίζονται ως εξής:

- Ο πίσω λοβός είναι ο λοβός ακτινοβολίας του οποίου ο άξονας σχηματίζει γωνία  $180^\circ$  σε σχέση με τον άξονα του κύριου λοβού. Ο οπίσθιος λοβός δεν έχει οριστεί για καθολικές κεραιές συστοιχίας.
- Ο λόγος μπροστά-προς-πλευρικού λοβού είναι ο λόγος της μέγιστης κατευθυντικότητας μιας κεραιάς προς την μέγιστη ακτινοβολία σε συγκεκριμένη κατεύθυνση πλευρικού λοβού.

- Ο κύριος λοβός, ή ο κύριος λοβός, είναι ο λοβός ακτινοβολίας της κεραίας που περιέχει την κατεύθυνση της μέγιστης ακτινοβολίας.
- Οι πλευρικοί λοβοί είναι λοβοί ακτινοβολίας κεραίας σε οποιαδήποτε κατεύθυνση διαφορετική από εκείνη του κύριου ή μεγάλου λοβού μοτίβου κεραίας.

Η κατανομή διαφράγματος είναι το πεδίο πάνω από το άνοιγμα της κεραίας που περιγράφεται από κατανομές πλάτους, φάσης και πόλωσης. Για συσπειρωτικές συστοιχίες διπολικών κεραιών, η κατανομή του ανοίγματος δίνεται περίπου από τις διπολικές διεγέρσεις.

Το εύρος δέσμης είναι το γωνιακό πλάτος του κύριου λοβού ενός μακρινού πεδίου κεραίας όπως μετράται μεταξύ των σημείων πλάτους στο κύριο σχέδιο λοβού που είναι 3 dB κάτω από την κορυφή του κύριου λοβού. Το εύρος δέσμης σε ένα επίπεδο ποικίλλει ανάλογα με το αντίστροφο της αποτελεσματικής διάστασης της κεραίας στο ίδιο επίπεδο. Το εύρος δέσμης και η κατευθυντικότητα είναι αντίστροφα μεγέθη.

Το εύρος ζώνης ορίζεται συνήθως από τη ζώνη συχνοτήτων ενός ορθογωνίου φασματική πυκνότητα ισχύος (Power Spectral Density-PSD) που ενσωματώνει την πραγματική ισχύ σήματος που έχει την ίδια κορυφή PSD.

Η συστοιχιακή κεραία είναι μια γραμμική διάταξη στοιχείων ακτινοβολίας που είναι συνήθως πολωμένα κατά την κατεύθυνση του άξονα της κεραίας και παρουσιάζουν ένα ομοιόμορφο σχέδιο στο επίπεδο κάθετο στον άξονα της κεραίας.

Το κέρδος οδηγίας (βλέπε επίσης κέρδος) είναι επίσης μια ποσότητα μακρινού πεδίου και ορίζεται ως ο λόγος πυκνότητας ακτινοβολίας σε μια συγκεκριμένη γωνιακή κατεύθυνση προς την πυκνότητα ακτινοβολίας της ίδιας ισχύος  $P_{rad}$  που εκπέμπεται ισότροπα. Το κέρδος οδηγίας μπορεί να βρεθεί από τον ακτινοειδώς κατευθυνόμενο φορέα Poynting σε σχέση με τον μέσο όρο Poynting φορέα πάνω από τη σφαίρα ακτινοβολίας.

$$D(\theta, \varphi) = \frac{|(\mathbf{E} \times \mathbf{H}^*) \cdot \mathbf{r}|}{\frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^\pi |(\mathbf{E} \times \mathbf{H}^*) \cdot \mathbf{r}| \sin(\theta) d\theta d\varphi}$$

Είναι εύκολο να δείξουμε ότι το κέρδος της οδηγίας του απειροελάχιστου στοιχείου ρεύματος που εξετάστηκε νωρίτερα μπορεί να βρεθεί χρησιμοποιώντας τον παραπάνω τύπο να είναι  $D = 1.5 \sin^2(\theta)$  σημειώνοντας ότι η λειτουργική μορφή του προϊόντος των  $E$  και  $H$  είναι απλά  $\sin^2\theta$  το μακρινό πεδίο και πραγματοποιώντας την απλή ενσωμάτωση στον παρονομαστή του τύπου. Από τη δυαδικότητα, το κέρδος οδηγίας του απειροελάχιστου βρόχου είναι το ίδιο με εκείνο του απειροελάχιστου διπόλου. Η κατευθυντικότητα  $D$  είναι το κέρδος οδηγίας στην κατεύθυνση της μέγιστης πυκνότητας ακτινοβολίας και μπορεί να εκφραστεί ως

$$D = \frac{P_d 4\pi r^2}{P_{rad}}$$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### 2.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ SAR ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ ΚΛΑΣΙΚΩΝ ΚΕΡΑΙΩΝ ΚΑΙ ΚΕΡΑΙΩΝ –ΓΙΛΕΚΩΝ

Στη μελέτη αυτή χρησιμοποιείται ένα μοντέλο τεσσάρων μερών του ανθρώπινου σώματος, το οποίο αποτελείται από το κεφάλι, τον κορμό, τα χέρια και τα πόδια. Δεδομένου ότι οι ιστοί έχουν περίπου την ίδια πυκνότητα μάζας, την ίδια διαπερατότητα και αγωγιμότητα εκπροσωπούνται με βάση το διαφορετικό βάρος και τον όγκο κάθε οργάνου, όπως φαίνεται στους παρακάτω πίνακες 1 και 2.

Organ	$\epsilon_r$ 400 MHz	$\sigma$ [S/m] 400 MHz	Size	Mass[kg]	% of human weight
Heart	66	0.97	12x8-9x6 cm <sup>3</sup>	0.25-0.35	0.5
Kidney	66.4	1.1	12x5x6 cm <sup>3</sup>	0.15	0.5
Liver	51.2	0.65	20-22.5x15-17.5x10-12.5 cm <sup>3</sup>	1.3-3	3.3
Lung	54.6	0.68	25x30x5 cm <sup>3</sup>	0.625 (R), 0.567 (L)	1.8
Stomach	67.5	1.00	50 mlit – 1 lit	0.48-0.52	0.8
Muscle	58.8	0.84	-	6-7	10
Intestine	66.1	1.9	-	1.8-2.4	3
Bone	13.1	0.09	-	5-7	8.3
Blood	64.2	1.35	-	-	5
Water	81	0.001	-	-	66.8

Body Part		% of weight	Avr. Permittivity (30-80 MHz)		Avr. Conductivity (30-80 MHz)	
Hands	Bone	66.6	34.63	49.5	0.15	0.335
	Muscle	33.3	79		0.7	
Legs	Bone	25	34.63	68.2	0.15	0.565
	Muscle	75	79		0.7	
Body		Table 1.	79.25		0.2	
Head	Skull	45	26.5	65.7	0.105	0.3
	Brain	45	100.6		0.375	
	Eye	10	85.35		0.865	

**Εικόνα 1**

Στην **Εικόνα 1**, το μέγεθος, η μάζα και το ποσοστό ανθρώπινου βάρους παρουσιάζονται για ορισμένα όργανα, ενώ η διαπερατότητα και η αγωγιμότητα αυτών των οργάνων καθορίζεται στα 400 MHz. Με τον υπολογισμό της μέσης διαπερατότητας και αγωγιμότητας,

$$g_i, \text{ η οποία ορίζεται ως } \bar{g}_i = \sum_i g(f) \times W_i, \text{ όπου } g = \epsilon_r, \sigma$$

Όπου,  $i$  και  $W$  αντιπροσωπεύουν τα συμπεριλαμβανόμενα όργανα και το βάρος καθενός από αυτά, ένα για κάθε τμήμα του ανθρώπινου σώματος, αντίστοιχα. Η διαπερατότητα και η αγωγιμότητα εξάγεται χρησιμοποιώντας την ποσοστιαία πληροφορία και τον απλό μέσο όρο για κάθε τμήμα του απεικονιζόμενου μοντέλου. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 2. Υποτίθεται ότι το ανθρώπινο κεφάλι αποτελείται από κρανίο, εγκέφαλο και μάτια. Τα χέρια και τα πόδια αποτελούνται από μυς και οστά και τα υπόλοιπα του σώματος υποτίθεται ότι είναι μύες, οστά, καρδιά, έντερο, συκώτι, νεφρά, πνεύμονες, στομάχι, αίμα και νερό. Στο σχήμα 4, το προτεινόμενο μοντέλο ανθρώπινου σώματος και η αγωγιμότητα απεικονίζεται σε συνάρτηση με τη συχνότητα και τους μέσους όρους αυτών.

## 2.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΕΡΑΙΩΝ ΠΟΥ ΦΟΡΙΟΥΝΤΑΙ

Το ανθρώπινο σώμα, κοντά στο οποίο λειτουργούν οι κεραίες που φοριούνται, επιβάλλει ρητές απαιτήσεις και περιορισμούς που πρέπει να περιλαμβάνονται στα κριτήρια σχεδιασμού της κεραίας. Αυτό επηρεάζει την επιλογή υλικών και τεχνολογιών για την υλοποίησή της. Θα περιγράψουμε πρώτα όλα τα σχετικά κριτήρια που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό κεραιών που μπορούν να φορεθούν για λειτουργία στις ζώνες

VHF / UHF. Στη συνέχεια αναφέρουμε τη μέθοδο επιλογής και τον ηλεκτρικό χαρακτηρισμό των κατάλληλων υλικών κατασκευής..

### **2.2.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ**

Σχετικά με τα κριτήρια σχεδιασμού, η κεραία πρέπει να είναι διακριτική, υπό την έννοια ότι δεν περιορίζει τις κινήσεις του ατόμου που φοράει την ασύρματη συσκευή. Για κάποιες εφαρμογές (στρατιώτες, προσωπικό φύλαξης), οι κεραίες πρέπει επίσης να είναι τραχιές με χαμηλή οπτική υπογραφή. Επιπλέον, πρέπει να είναι ελαφρές, χαμηλού προφίλ, συμπαγείς και ευέλικτες (για να γίνει η κεραία συμβατή με το σώμα του χρήστη). Ακολουθεί άμεσα ότι η ανεκτή έκταση για μια διακριτική φορητή κεραία είναι της τάξης των μερικών δεκάδων εκατοστών, η οποία είναι συγκρίσιμη με το 1GHz και σημαντικά μικρότερη από τις συχνότητες της ζώνης VHF.

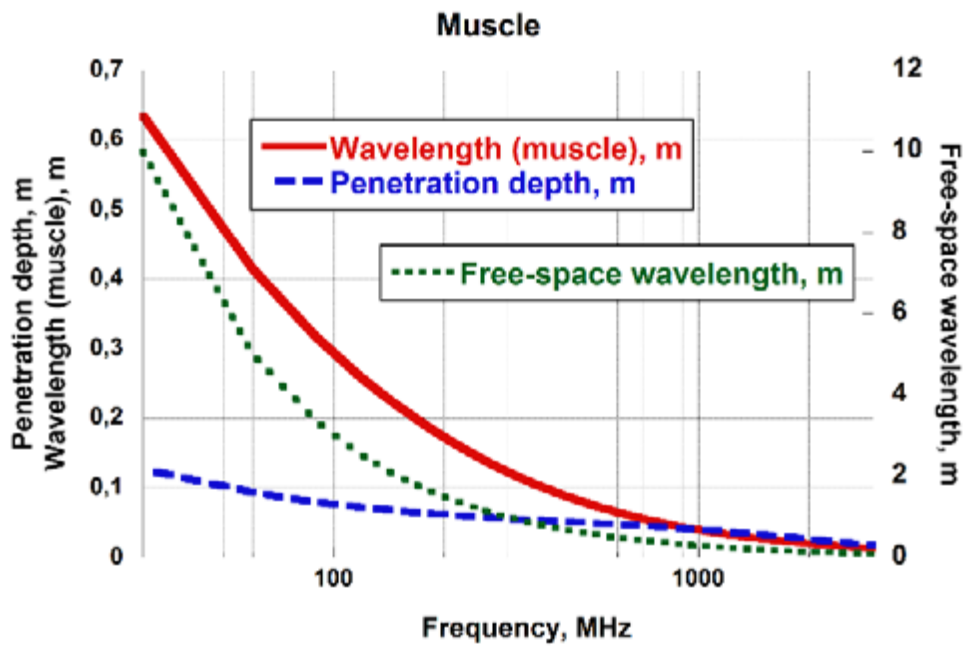
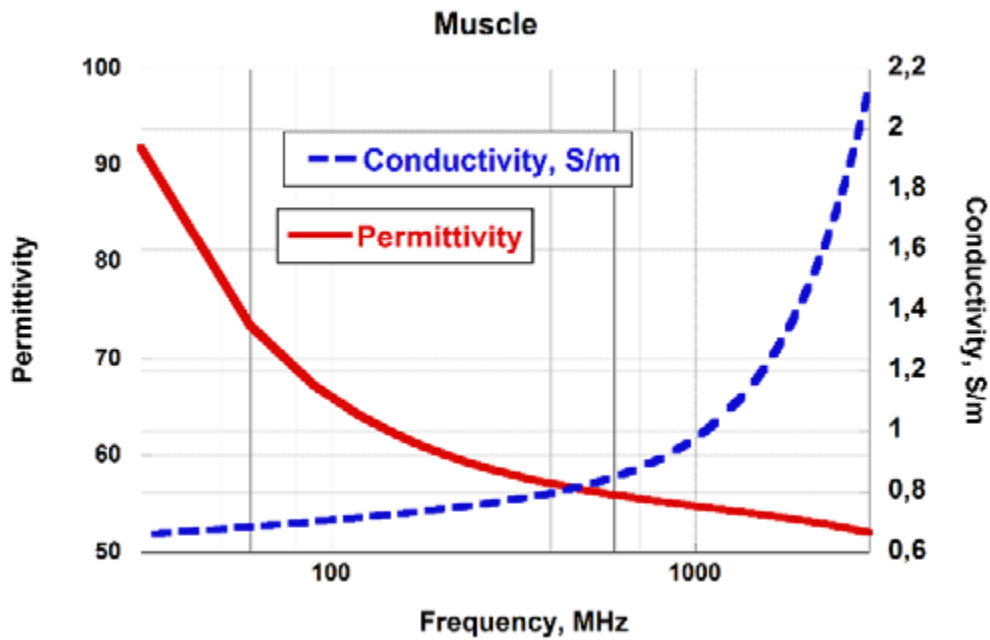
Σε συχνότητες μικρότερες από 1GHz, ο φορέας της κεραίας δεν μπορεί να θεωρηθεί ηλεκτρικά μεγάλος, ενώ για κεραίες υψηλής απόδοσης (όπου η απόδοση προτιμάται σε σχέση με τη σμίκρυνση της κεραίας που έχει ως αποτέλεσμα ηλεκτρικά μικρές, εγγενώς ανεπαρκείς κεραίες) το μέγεθος της κεραίας θα είναι συγκρίσιμο με το μέγεθος του σώματος. Η ηλεκτρομαγνητική οπτική γωνία, όπου το ίδιο το σώμα βρίσκεται στην αντιδραστική περιοχή πλησίον του πεδίου της κεραίας, γίνεται σημαντικό στοιχείο της κεραίας και επηρεάζει την απόδοσή της. Τα κυριότερα αποτελέσματα είναι η μείωση του πραγματοποιηθέντος κέρδους λόγω απόσβεσης σύνθετης αντίστασης, αύξησης επιπέδου σταυρωτής πόλωσης, κατακερματισμού μοτίβων ακτινοβολίας και μείωσης της απόδοσης της κεραίας που σχετίζεται με τη σύζευξη ισχύος στο ανθρώπινο σώμα. Ως εκ τούτου, η παρουσία του σώματος πρέπει να εξεταστεί από την αρχή της διαδικασίας σχεδιασμού. Αυτή η προσέγγιση διαφέρει από αυτό που συνήθως γίνεται όταν σχεδιάζουμε φορητές κεραίες που λειτουργούν σε συχνότητες μικροκυμάτων και χιλιοστομετρικών κυμάτων, όπου οι επιδράσεις του ατόμου που φοράει την κεραία μπορούν να αντισταθμιστούν εκ των υστέρων, με μετρήσεις και λεπτό συντονισμό μια κεραίας που σχεδιάστηκε αρχικά για συνθήκες λειτουργίας ελεύθερου χώρου. Το φαινόμενο του σώματος είναι σημαντικό για τις κεραίες VHF, δεδομένου ότι το σώμα του χρήστη είναι εξ ολοκλήρου εντός της περιοχής που αντιδρά στην περιοχή της κεραίας. Επίσης, η απορρόφηση ακτινοβολίας και η αντήχηση βρίσκεται ακριβώς στη ζώνη VHF: 70-80MHz για SAR (Ειδικός Ρυθμός Απορρόφησης) και περίπου 300MHz για το SAR κεφαλής. Λόγω του σχετικά μεγάλου μήκους κύματος, τα ρούχα κάτω από την κάλυψη της κεραίας δεν επηρεάζουν την

απόδοσή της αν δεν είναι βρεγμένα, βρώμικα ή ηλεκτρικά αγωγίμα).Εδώ πρέπει να σημειώσουμε πως η απόδοση των φορητών κεραιών που ενσωματώνονται στα ενδύματα των πυροσβεστών και των στρατιωτών περιορίζεται από μια σειρά συσκευών κοντά στην κεραία (πυροσβεστήρες, πυρομαχικά, κλπ.).

Το ανθρώπινο σώμα συμπεριφέρεται ως μια ανομοιογενής πλατφόρμα κεραιάς με απώλειες υψηλής διηλεκτρικής διαπερατότητας. Ως αναφορά, η σχετική διαπερατότητα και η αποτελεσματική αγωγιμότητα παρουσιάζονται στην **Εικόνα 2** για τον μυϊκό ιστό. Το μήκος κύματος και το βάθος διείσδυσης στον μυ φαίνονται στο ίδιο σχήμα. Οι υψηλές τιμές της σχετικής διαπερατότητας των ανθρώπινων ιστών (μεγαλύτερες από 50) μπορούν να δώσουν μόνο ένα μικρό φαινόμενο μικρογράφησης σε σχέση με την αυτόνομη κεραία, καθώς στο χαμηλότερο εύρος συχνοτήτων, το σώμα καταλαμβάνει μικρό ποσοστό του όγκου την αντιδραστική περιοχή κοντά στην περιοχή της κεραιάς. Η απορρόφηση ισχύος στο ανθρώπινο σώμα μπορεί να συμβάλλει στη βελτίωση της απώλειας επιστροφής και στην ικανοποίηση των ευρυζωνικών απαιτήσεων, αλλά η αποδοτικότητα της ακτινοβολίας της κεραιάς υποβαθμίζεται. Πράγματι, η μέτρηση της αποτελεσματικότητας για φορητές κεραιές VHF μπορεί να είναι χαμηλότερη κατά μερικές εκατοστιαίες μονάδες. Η μείωση της απόδοσης πιθανό (αλλά όχι απαραίτητα) οδηγεί σε μείωση του κέρδους της κεραιάς σε σύγκριση με το συνθήκες ελεύθερου χώρου.

Είναι σημαντικό οι κεραιές που βρίσκονται κοντά στο σώμα να ικανοποιούν τα όρια SAR ώστε να διατηρούν την έκθεση του χρήστη κάτω από επιβλαβή όρια. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές της ICNIRP στη ζώνη συχνοτήτων 10MHz-10GHz, ο μέσος SAR ολόκληρου του σώματος στα 0,08 W / kg έχει επιλεγεί ως ο περιορισμός που παρέχει επαρκή προστασία. Επιπλέον, η μέση μέγιστη τιμή 10 g SAR στο κεφάλι / κορμό και στα άκρα δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 2W / kg και 4W / kg, αντίστοιχα.





**Εικόνα 2**

Οι συμβατικές κεραίες VHF είναι ογκώδεις και έχουν χρησιμοποιηθεί τεχνικές σμίκρυνσής τους για την τοποθέτηση της κεραίας σε ρούχα, γιλέκα και σακάκια (γεωμετρίες fractal, κεραμικά υλικά υψηλής περιεκτικότητας, κλπ.). Ωστόσο, οι μικροσκοπικές κεραίες έχουν χαμηλή απόδοση, και τα διηλεκτρικά με υψηλή διείσδυση και τα μαγνητικά υλικά αυξάνουν το βάρος και το κόστος της κεραίας. Οι κεραίες σύρματος, οι κεραίες ταινιών από χάλκινη ταινία ή κεραίες κεντημένου σύρματος, όλες παρουσιάζουν παρόμοιες ηλεκτρικές επιδόσεις στη ζώνη VHF. Αυτό οφείλεται κυρίως στην απορρόφηση ισχύος από το ανθρώπινο σώμα

που είναι ο κυρίαρχος μηχανισμός απώλειας, σε σύγκριση με τις ωμικές απώλειες στα αγωγή μέρη της κεραίας. Για να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα της κεραίας, το μέγεθος των ακτινοβολούμενων στοιχείων πρέπει να αυξηθεί, συνεπώς απαιτεί την ανάπτυξη εύκαμπτων κεραίων που είναι σύμφωνες με το σχήμα του σώματος (κεραίες διπλής όψης, κεραίες ζωνών). Καθώς οι συνήθεις κεραίες VHF συρμάτων είναι συνήθως τοποθετημένες κατά μήκος των ποδιών και των χεριών, η μορφή της ακτινοβολίας, οι μηδενικές κατευθύνσεις στο μοτίβο ακτινοβολίας και η πόλωση του πεδίου επηρεάζονται κυρίως από τη στάση του χρήστη της κεραίας και της θέσης της κεραίας στο σώμα.

Στη ζώνη UHF, οι διατάξεις κεραίας μπορούν να περιλαμβάνουν ένα επίπεδο γείωσης για την προστασία της κεραίας από το ανθρώπινο σώμα. Ωστόσο, δεδομένου ότι δεν μπορεί να είναι ηλεκτρικά μεγάλο στις χαμηλότερες συχνότητες, δεν είναι τόσο αποτελεσματικό για να αυξήσει το κέρδος της κεραίας. Επιπλέον, εξαιρώντας τον μεταλλικό ανακλαστήρα, η κεραία μπορεί να είναι πιο λεπτή και πιο εύκαμπτη. Επιπλέον, παρατηρείται υποβάθμιση της απόδοσης σε γειωμένες κεφαλές πολλαπλών στρώσεων, λόγω μηχανικής παραμόρφωσης και απορρόφησης υγρασίας του υφάσματος που χρησιμοποιείται ως διηλεκτρικό στρώμα για την απομόνωση των αγωγίμων τμημάτων της κεραίας. Οι επιδράσεις στο σώμα καθίστανται λιγότερο έντονες καθώς αυξάνεται η συχνότητα λειτουργίας, επειδή η ηλεκτρική απόσταση μεταξύ της κεραίας και του σώματος μπορεί να αυξηθεί ενώ εξακολουθεί να ικανοποιεί τις απαιτήσεις χαμηλού προφίλ.

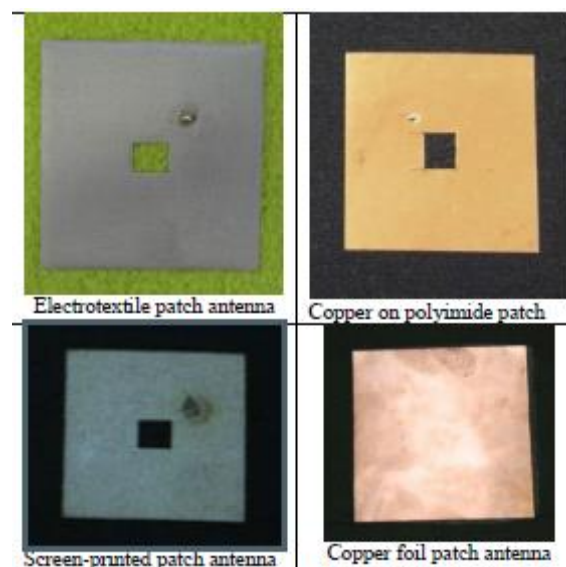
### **2.2.2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ**

Προκειμένου η κεραία να φορεθεί, πρέπει να συνδυαστεί μια κατάλληλη επιλογή υλικών, τόσο για τα αγωγή όσο και για τα μη αγωγή μέρη, με μια προσαρμοσμένη τοπολογία κεραίας. Αυτός ο συνδυασμός υλοποιεί την βέλτιστη απόδοση κοντά στο ανθρώπινο σώμα μέσω ενός στοιχείου κεραίας το οποίο είναι αόρατα και διακριτικά ενσωματωμένο μέσα σε ένα ένδυμα καθώς και άνετο και μη παρεμποδιστικό για τον χρήστη.

Τα υφάσματα ως υποστρώματα της κεραίας είναι μια προφανής επιλογή όταν κάποιος θέλει να ενσωματώσει κεραίες σε ενδύματα. Το 2000, η Massey ήταν η πρώτη που πρότεινε κεραίες από ύφασμα που συνδυάζουν εξαιρετική απόδοση ακτινοβολίας με μέγιστη άνεση χρηστών. Καθώς, για βέλτιστη απόδοση, η κεραία πρέπει να είναι σχετικά μεγάλη, ιδιαίτερα στη συχνότητα VHF / UHF πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή ώστε η κεραία μαζί με τη

δομή στήριξης να είναι επαρκώς εύκαμπτη, μια και δεν μπορεί να αφαιρεθεί για να προστατευτεί από την πίεση, τη συμπίεση και τη θραύση και να εξασφαλίσει σταθερότητα. Επιπλέον, θα πρέπει να αποφεύγεται η μόνιμη παραμόρφωση της κεραίας και της δομής στήριξης μετά από προσωρινή συμπίεση περιορίζοντας το σύνολο (CS <40% κατά κανόνα) των αποδεκτών υλικών. Επιπλέον, η μονάδα θα πρέπει να είναι διαπερατή, έτσι ώστε να μην παγιδεύεται υπερβολική υγρασία από την κεραία. Η έκθεση της μονάδας κεραίας σε διαφορετικές συνθήκες σχετικής υγρασίας μπορεί επίσης να έχει σαν αποτέλεσμα σταγονίδια νερού που απορροφώνται από τα υφασμάτινα υλικά. Κάτι τέτοιο θα επηρέαζε τα χαρακτηριστικά της. Το 2010, διαπιστώθηκε ότι, για να εξασφαλιστεί σταθερή απόδοση κεραίας σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες, πρέπει να προτιμώνται υδρόφοβα υφάσματα, με χαμηλή επαναφορά υγρασίας (MR <3, κατά κανόνα).

Για την υλοποίηση των αγώγιμων εξαρτημάτων είναι διαθέσιμες διάφορες τεχνολογίες κατασκευής κεραίας, μερικές από τις οποίες παρουσιάζονται στην **Εικόνα 3**. Η απλούστερη προσέγγιση είναι η ενσωμάτωση, το πλέξιμο ή το κέντημα αγώγιμων καλωδίων, χαλκοταινιών ή αγώγιμων νημάτων σε ένα κομμάτι ιματισμού. Το 2004, συναρμολογήθηκε<sup>2</sup> μια κεραία διπλής ζώνης, τοποθετώντας ένα patch με σχισμή σε σχήμα πετάλου (U), που δημιουργήθηκε σε ταινία χαλκού, σε ένα υπόστρωμα από ύφασμα.



**Εικόνα 3: Επισκόπηση κάποιων υλοποιήσεων κεραίας επίστρωσης κλωστοϋφαντουργίας. Κορυφή αριστερά: Εναλλακτικό έλασμα. Κορυφή δεξιά:**

<sup>2</sup> J. Lilja and P. Salonen, "Textile material characterization for softwear antennas, USA, 2009, pp. 628–634.

**έμπλαστρο χαραγμένο σε χαλκό σε λεπτό υπεργαλιστικό υπόστρωμα πολυϊμιδίου. Κάτω αριστερά: κεραμική πλάκα. Κάτω δεξιά: φύλλο χαλκού σε υφασμάτινο υπόστρωμα.**

Το 2006, ενσωματώθηκαν <sup>3</sup>βραχίονες διπολικής κατασκευής από ταινία χαλκού- αλουμινίου μήκους 1cm μέσα σε ένα σακάκι για την εφαρμογή μιας κεραίας ζώνης FM. Αν και τα σύρματα και η χάλκινη ταινία είναι εύκαμπτα, δεν είναι αναπνεύσιμα και μπορεί να επηρεάσουν την άνεση του ατόμου που φοράει το σακάκι. Ως εκ τούτου, δεν παρέχουν πλήρως ολοκληρωμένες λύσεις. Το 2005, περιστρέφονται οι επιφάνειες της κεραίας μέσω συνδυασμού αγώγιμων και μη αγώγιμων νημάτων. Αυτά τα έμπλαστρα απλώς τοποθετήθηκαν σε ένα άκαμπτο υλικό πλακέτας Rogers HF. Μία πιο κατάλληλη τεχνική για την πραγματοποίηση κεραίων υφάσματος συνίσταται στην τοποθέτηση κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, τα οποία είναι συνήθως υφάσματα χαλκού ή χαλκού νικελίου, στο υφασμάτινο υπόστρωμα. Το 2000, συνενώθηκε<sup>4</sup> το επιχρισμένο με χαλκό πλαστικό νάιλον έμπλαστρο με υφασμάτινο υπόστρωμα .

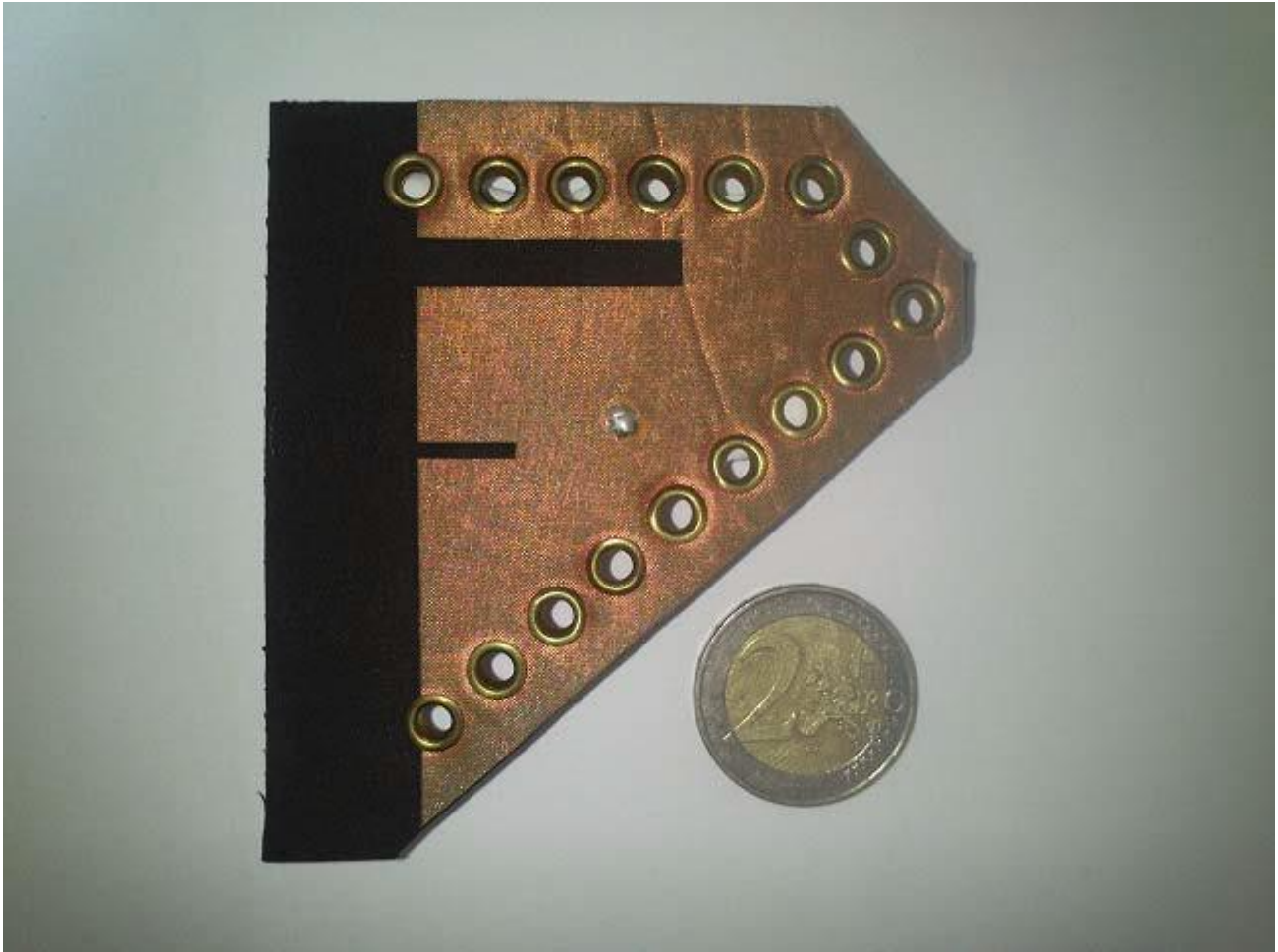
Αργότερα, το 2008, διαπιστώθηκε ότι μια καλύτερη σύνδεση και περισσότερη ευκαμψία μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση θερμικά ενεργοποιημένου θερμικού φύλλου για τη συναρμολόγηση των διαφορετικών στρωμάτων. Πολύ πρόσφατα, οι κεντημένες κεραίες κέρδισαν τη δημοτικότητα, χάρη στη διαθεσιμότητα μηχανών αυτόματης ύφανσης χαμηλού κόστους που λειτουργούν με αγώγιμα νήματα. Αυτά τα μηχανήματα επιτρέπουν την ύφανση διαφορετικών σχημάτων κεντήματος για την κεραία και το επίπεδο γείωσης, κάτι που είναι πολύ χρήσιμο για το πλαίσιο των ετικετών RFID. Τελικά, μπορούν να εφαρμοστούν τεχνικές προσθέτων, όπως η εκτύπωση με οθόνη ή inkjet, για τον καθορισμό των σχεδίων κεραίας, ανακλαστήρα και επίγειων επιπέδων στο ένδυμα. Οι πρώτες κεραίες κλωστοϋφαντουργίας που εκτυπώθηκαν στην οθόνη εμφανίστηκαν το 2008. Επιπροσθέτως, το 2012 προστέθηκαν κεραίες με υφασμάτινες επιφάνειες που πλένονται για πλέξιμο για ζώνη ISM των 2,45 GHz και για ετικέτες UHF-RFID

Μια ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα πρόσφατη τεχνική κατασκευής, που εισήχθη για πρώτη φορά το 2012 , συνίσταται στην εφαρμογή τεχνολογίας κυματοδηγού υποστρώματος για τη δημιουργία κοιλοτήτων σε υφαντικό υπόστρωμα μέσω σειρών οπών (Εικόνα 4) ή με

<sup>3</sup> T. Kellomaki, J. Heikkinen, and M. Kivikoski, "Wearable antennas for FM reception", , pp. 1-6, Nice, France, November 6-10, 2006.

<sup>4</sup> P.J. Massey, "Fabric Antennas for Mobile Telephony Integrated Within Clothing", University College London's 2000

κέντημα. Αυτή η τεχνική αξιοποιεί το σχεδιασμό φορητών κεραιών με εξαιρετική απομόνωση της ακτινοβολίας της κεραίας από το ανθρώπινο σώμα.



**Εικόνα 4: Κλωστοϋφαντουργική κεραία**

Ένα σημαντικό ζήτημα κατά το σχεδιασμό κεραιών πάνω σε ύφασμα είναι ότι οι διηλεκτρικές ιδιότητες των υφασμάτων αυτών που περιβάλλουν την φορητή κεραία δεν είναι άμεσα διαθέσιμες. Το πρόβλημα περιπλέκεται από το γεγονός ότι απαιτούνται συνθετικές μέθοδοι για τον χαρακτηρισμό της διαπερατότητας και της εφαπτομένης απώλειας των μη αγώγιμων υφασμάτων μαζί με την αντίσταση φύλλου ή την αγωγιμότητα των αγώγιμων υλικών που εφαρμόζονται για την κατασκευή της κεραίας. Αν και τα αγώγιμα και μη αγώγιμα εξαρτήματα μπορούν να χαρακτηριστούν ξεχωριστά, οι ηλεκτρικές τους ιδιότητες μπορεί να διαφέρουν όταν συνδυάζονται. Αυτό οφείλεται στη διαδικασία κατασκευής

(πλέξιμο, ύφανση) και συναρμολόγησης (πρόσθετα κόλλες ή συγκολλητικά φύλλα) που εφαρμόζονται κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Μια ακριβής πρόβλεψη της απόδοσης της κεραίας που μπορεί να φορεθεί μπορεί να απαιτεί ταυτόχρονο χαρακτηρισμό όλων των σχετικών αγώγιμων και μη αγώγιμων υλικών μέσω δοκιμαστικών δομών που κατασκευάζονται με τον ίδιο τρόπο όπως και η φορητή κεραία.

Μια πρόσθετη επιπλοκή, που προκύπτει από τη συμβατική διαδικασία παραγωγής κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, όπως το πλέξιμο, η ύφανση και το κεντήματα, προκύπτει από την τυπική ανομοιογένεια, την ανισοτροπία και την αστάθεια (όσον αφορά τη γεωμετρία και τις περιβαλλοντικές συνθήκες) των υλικών ιδιοτήτων του υφάσματος. Ένα ύφασμα μπορεί να περιγραφεί ως ένα μίγμα ινών, μορίων αέρα και νερού. Η διαδικασία χαρακτηρισμού και η επακόλουθη διαδικασία σχεδίασης της κεραίας θα πρέπει να συνυπολογίσει τα στοιχεία αυτού του μίγματος.

Οι τεχνικές χαρακτηρισμού βάσει συντονισμού, όπως αλγόριθμοι διαταραχής κοιλοτήτων, παρέχουν ακριβείς ιδιότητες ανισότροπου απλού υλικού σε μία ή μερικές διακριτές συχνότητες. Οι μη συντονισμένες προσεγγίσεις, βασισμένες στην αντανάκλαση ή / και τη μετάδοση κατά μήκος των γραμμών μεταφοράς, μπορούν να αποδώσουν τις ιδιότητες του διηλεκτρικού υλικού σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων, με βάση μια δοκιμαστική δομή που μοιάζει πολύ με την πραγματική δομή κεραίας που φοριέται. Ωστόσο, τυπικά χαρακτηρίζουν μόνο τα εξαρτήματα εκτός επιπέδου, τα οποία είναι τα πιο σχετικά με την εξέταση των τοπολογιών microstrip και όταν αγνοούνται τα πεδία των κροσσών. Οι ιδιότητες ευρέος φάσματος υλικών που διαπιστώνονται με μη συντονισμένες μεθόδους μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αρχικές τιμές σε μια δεύτερη πιο ακριβή διαδικασία βασιζόμενη σε συντονισμό, όπου κατασκευάζονται κεραίες στενής ζώνης που έχουν συντονιστεί κοντά στη ζώνη συχνοτήτων ενδιαφέρον. Αυτές οι δομές επιτρέπουν επίσης την ακριβή ποσοτικοποίηση των επιδράσεων της σχετικής υγρασίας ή της υγρασίας, της συμπίεσης ή της καταπόνησης και των επαναλαμβανόμενων κύκλων πλύσης στις ιδιότητες του υλικού. Όσον αφορά τις ιδιότητες των υλικών των ηλεκτροχρωμάτων, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, λόγω της τραχύτητας της επιφάνειας του υφάσματος, η ειδική αντίσταση φύλλου στο VHF / UHF είναι σημαντικά υψηλή. Παρόμοια με μη αγώγιμα υφάσματα, το πλέγμα θα έχει ως αποτέλεσμα διαφορετικές αγωγιμότητες σε σχέση με τα νήματα. Και πάλι, η διαδικασία χαρακτηρισμού μπορεί να διεξαχθεί μέσω μιας συντονισμένης κοιλότητας καθώς επίσης και μέσω μη συντονιστικών γραμμών μετάδοσης microstrip. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί σε μια ειδική διαδικασία αποσυναρμολόγησης που απομονώνει την αγωγιμότητα του

ηλεκτροχρώματος από όλες τις άλλες επιδράσεις. Πολλοί κύκλοι πλύσης ενδέχεται να μειώσουν σταδιακά την αγωγιμότητα των αγωγίμων τμημάτων της κεραίας. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί με την ενθυλάκωση της κεραίας από μια επίστρωση θερμοπλαστικής πολυουρεθάνης (TPU) που αναπνέει. Σημειωτέο ότι αυτή η επίστρωση θα επηρεάσει τις ιδιότητες υλικών των φορητών κεραίων.

## **2.3 ΜΗΚΗ ΚΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΕΡΑΙΕΣ ΠΟΥ ΦΟΡΙΟΥΝΤΑΙ**

### **2.3.1 VHF ΚΑΙ ΚΕΡΑΙΕΣ ΠΟΥ ΦΟΡΙΟΥΝΤΑΙ**

Στη ζώνη VHF, οι ευρυζωνικές κεραίες που φοριούνται παρουσιάζουν μεγάλες φυσικές διαστάσεις συγκρίσιμες με το μέσο μέγεθος σώματος και αναπόφευκτα είναι ηλεκτρικά μικρές κεραίες στις χαμηλότερες συχνότητες. Τυπικές διατάξεις περιλαμβάνουν κεραίες τύπου διπόλου (π.χ. διπλωμένα δίπολα,). Πράγματι, μια απλή διάταξη, χωρίς την ανάγκη για δομή πολλαπλών στρωμάτων και ευκολία κατασκευής, είναι στην πραγματικότητα απαραίτητη όταν σχεδιάζονται μεγάλες κεραίες που τοποθετούνται σε ρούχα και ενδύματα και ισχυρές σε σχέση με τις κινήσεις του χρήστη και σκληρά περιβάλλοντα. Συνήθως, οι φορητές κεραίες VHF πρέπει να έχουν κυρίαρχη κατακόρυφη πόλωση και ομοιόμορφη κάλυψη στο οριζόντιο επίπεδο, ανεξάρτητα από τις θέσεις των βραχιόνων. Στα φορητά ραδιόφωνα VHF, οι συμβατικές κεραίες που είναι τοποθετημένες στην κινητή μονάδα εμφανίζονται ως προεξέχουσα συσκευή, γεγονός που μπορεί να περιορίσει τις κινήσεις του χρήστη και να μπερδευτεί σε αντικείμενα χαμηλής ανάρτησης. Επιπλέον, οι συμβατικές κεραίες δεν είναι κατάλληλες για συγκαλυμμένες λειτουργίες και ο στρατιώτης που μεταφέρει την κεραία είναι ένας εύκολα ανιχνεύσιμος στόχος σε σενάρια μάχης. Οι παραπάνω περιορισμοί μπορούν να αφαιρεθούν με αντικατάσταση της συμβατικής κεραίας από κεραία ενσωματωμένη σε κράνη ή με εύκαμπτη κεραία ενσωματωμένη μέσα στο ρούχο, με τη μορφή ενός ιμάντα ή μανδύα.

Μια τέτοια κεραία περιγράφεται στο βιβλίο των A. Jafargholi, A. Hosseinbeig, M. Emadi, L. Farhoudi, and S.A.Golgun, "VHF-LB Vest Antenna," *Progress in Electromagnetics Research*. Πρόκειται για μια εύκαμπτη κεραία διπλού βρόχου, όπου ένας από τους δύο βρόχους λειτουργεί ως παρασιτικό στοιχείο. Οι αγωγίμες λωρίδες είναι ενσωματωμένες σε ένα μη αγωγίμο κλωστοϋφαντουργικό προϊόν που παρέχει μηχανική αντοχή και εμποδίζει το σχίσιμο. Η κεραία είναι πλάτους 40cm, πάχους 20cm και το ύψος της είναι περίπου 70cm, ώστε να ταιριάζει με το μέσο μέγεθος ενός ενήλικου κορμού. Έχει χρησιμοποιηθεί

αριθμητικό φάντασμα ολόκληρου του σώματος για να δείξει το αυξημένο επίπεδο ασφάλειας της εύκαμπτης κεραίας σε σχέση με μια συμβατική κεραία, όσον αφορά τόσο το SAR όσο και το μαγνητικό πλησίον του πεδίου. Ωστόσο, το μετρούμενο κέρδος της κεραίας ζωνών είναι περίπου 5 έως 10 dB χαμηλότερο από μια τυποποιημένη κεραία. Μια πτώση κέρδους κεραίας σε περίπου 70-80MHz έχει επαληθευθεί μέσω αριθμητικών προσομοιώσεων, όπως αναμένεται λόγω του γνωστού φαινομένου συντονισμού απορρόφησης σώματος σε αυτές τις συχνότητες.

Στο βιβλίο των C.A. Winterhalter, J. Teverovsky, P. Wilson, J. Slade, W. Horowitz, E. Tierney, V. Sharma, "Development of electronic textiles to support networks, communications, and medical applications in future U.S. Military protective clothing systems," *IEEE Trans. on Information Technology in Biomedicine*, πραγματοποιήθηκε μια ευέλικτη κεραία διπλού βρόχου για το ενιαίο κανάλι και το αερομεταφερόμενο ραδιοσύστημα (SINCGARS, ζώνη 30-88MHz) για να αποδείξει την αποτελεσματικότητα της τεχνολογίας πυκνής υφαντικής στην ανάπτυξη κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων για φορητές κεραίες. Οι βρόχοι είναι κατασκευασμένοι από έναν ακτινοβολούντα αγωγό, ο οποίος αποτελείται από τέσσερις παράλληλες αγωγίμες λωρίδες πλάτους 0.25 ιντσών κατασκευασμένες από νήματα στημονιού με πούλιες και διαχωρισμένες από μονωτήρες με νήματα από νάilon.

Όσον αφορά τους δέκτες FM (87-108 MHz), έχουν προταθεί μεγάλες ευέλικτες κεραίες που φοριούνται ως εναλλακτική λύση στις συντονιζόμενες μικρές εσωτερικές κεραίες. Μια εκτεταμένη πειραματική ανάλυση των επιδράσεων της στάσης και των προσωπικών χαρακτηριστικών του χρήστη πραγματοποιήθηκε<sup>5</sup>, εξετάζοντας τέσσερις διαφορετικές κεραίες τύπου δίπολου: ένα δίπολο με λεπτό μισό κύμα, ένα δίπολο μήκους διπλού μήκους κύματος τεσσάρων δακτύλων (Σχήμα 5α), ένα διπλανό ποταμό και μια έλικα κανονικής λειτουργίας (Σχήμα 5β). Οι κεραίες έχουν σχεδιαστεί για να εκτυπώνονται στο εσωτερικό ενός παλτού και βρίσκονται κατά μήκος των ανθρώπινων βραχιόνων, με την έλικα τυλιγμένη γύρω από τον βραχίονα ενός χρήστη. Τα αγωγή εξαρτήματα είναι κατασκευασμένα από ταινία χαλκού αλουμινίου πλάτους 1 cm και στη συνέχεια προσαρτημένο σε ύφασμα από ύφασμα πάχους 8 mm. Κάθε βραχίονας μήκους 10cm αποτελείται από τέσσερις παράλληλες χάλκινες ταινίες πλάτους 1cm. Η βραχύτερη κεραία είναι το δίπτυχο που έχει μήκος 80cm και το μέγιστο πλάτος 23cm. Οι κεφαλές διπλής

<sup>5</sup> T. Kellomaki, J. Heikkinen, and M. Kivikoski, "Wearable antennas for FM reception", 2006 European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), pp. 1-6, Nice, France, November 6-10, 2006.



κεφαλής είναι 116cm μήκος, ενώ η έλικα είναι μήκους περίπου 25cm και περιλαμβάνει γραμμικό αντίβαρο μήκους 58 cm. Έχει βρεθεί ότι η εγγύτητα του ανθρώπινου σώματος αποδίδει 15-25%. Μείωση μήκους κεραίας σε σύγκριση με την ελεύθερη κεραία, ανάλογα με το μέγεθος του χρήστη (μεγαλύτερες μειώσεις παρατηρήθηκαν για μεγαλύτερους χρήστες, λόγω αύξησης της πραγματικής διηλεκτρικής σταθεράς του σώματος). Η απόδοση της κεραίας έχει μετρηθεί χρησιμοποιώντας έναν τοπικό σταθμό εκπομπής ως πομπό (οριζόντια πολωμένο πεδίο συμβάντος). Για να προσομοιώσουν πραγματικές συνθήκες ακρόασης, οι εθελοντές περπατούσαν, και κυμάτιζαν τα χέρια τους ενώ γύριζαν. Εν τω μεταξύ, καταγράφηκαν τα μέγιστα και ελάχιστα κέρδη. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικά άτομα. Ωστόσο, έχουν παρατηρηθεί μόνο ελαφρά αποτελέσματα των φυσικών χαρακτηριστικών του φέροντος. Τα μετρούμενα μέγιστα κέρδη των φθαρμένων κεραιών κυμαίνονται μεταξύ -13 και -15 dBi. Έχει υπολογιστεί ότι οι απώλειες σωματικού βάρους προκαλούν μείωση της απόδοσης 3 έως 6dB (αύξηση έως 10dB με τα χέρια του χρήστη να κρέμονται). Η μηδενική πλήρωση του σχεδίου αζιμουθιακής ακτινοβολίας συσχετίστηκε με φαινόμενα περίθλασης κυμάτων στα δάκτυλα των φέροντων. Πράγματι, το ανθρώπινο σώμα λειτουργεί ως πλατφόρμα κεραίας με πεπερασμένο μέγεθος και σχετικά υψηλό ορατότητα. Οι κεντημένες εκδοχές των ευρυζωνικών διπλωμένων διπολίων, των διπολικών πολλαπλών δακτύλων και των κεραίων δεσίματος, όλα για τη λήψη FM, έχουν μελετηθεί σε<sup>6</sup>. Το μεγαλύτερο εύρος ζώνης σύνθετης αντίστασης έχει ληφθεί με μια πολυεπίταση κεραία από πενταπλάσια δίπολα συνδεδεμένα παράλληλα (Εικόνα 5γ). Οι απώλειες σώματος συμβάλλουν στη συγχώνευση των ξεχωριστών κορυφών συντονισμού απώλειας επιστροφής της αυτόνομης κεραίας, με αποτέλεσμα να προκύπτουν σε ευρυζωνική κεραία. Το εξωτερικό πτυσσόμενο δίπολο έχει μήκος 144cm και πλάτος περίπου 10cm. Οι βραχιόνες διπόλου κεντώνται σε ένα υφασμένο υπόστρωμα πολυεστέρα, χρησιμοποιώντας ένα σύνθετο μεταλλικό νήμα κέντημα (MCEY) κατασκευασμένο από τρεις κλώνους επιστρωμένου με Ag νήματα χαλκού και τρία νήματα από νήματα πολυεστέρα. Οι ιδιότητες ακτινοβολίας του πρωτότυπου διπλού διπόλου μετρήθηκαν με την κεραία που συνδέεται με ένα χιτώνιο και εκτείνεται από το αριστερό αντιβράχιο στο δεξιό αντιβράχιο, περνώντας από τον ώμο του εθελοντή. Όπως αναμενόταν, παρατηρήθηκαν μεγάλες διακυμάνσεις στο κέρδος της κεραίας, το μοτίβο και την πόλωση όταν αλλάξαμε τη στάση των βραχιόνων (τα χέρια είναι τεντωμένα, τεντωμένα προς τα εμπρός ή προς τα κάτω). Το

<sup>6</sup> Jung-Sim Roh, Yong-Seung Chi, Jae-Hee Lee, Youndo Tak, Sangwook Nam, and Tae Jin Kang, "Embroidered Wearable Multiresonant Folded Dipole Antenna for FM Reception," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 9, pp. 803-806, 2010.

κέρδος της κεραίας που φοριέται στο σώμα κυμαίνεται από -7 έως -16dBd, ανεξάρτητα από τις κινήσεις του βραχίονα. Το μέγιστο όφελος επιτυγχάνεται όταν οι βραχίονες του χρήστη είναι τεντωμένοι.

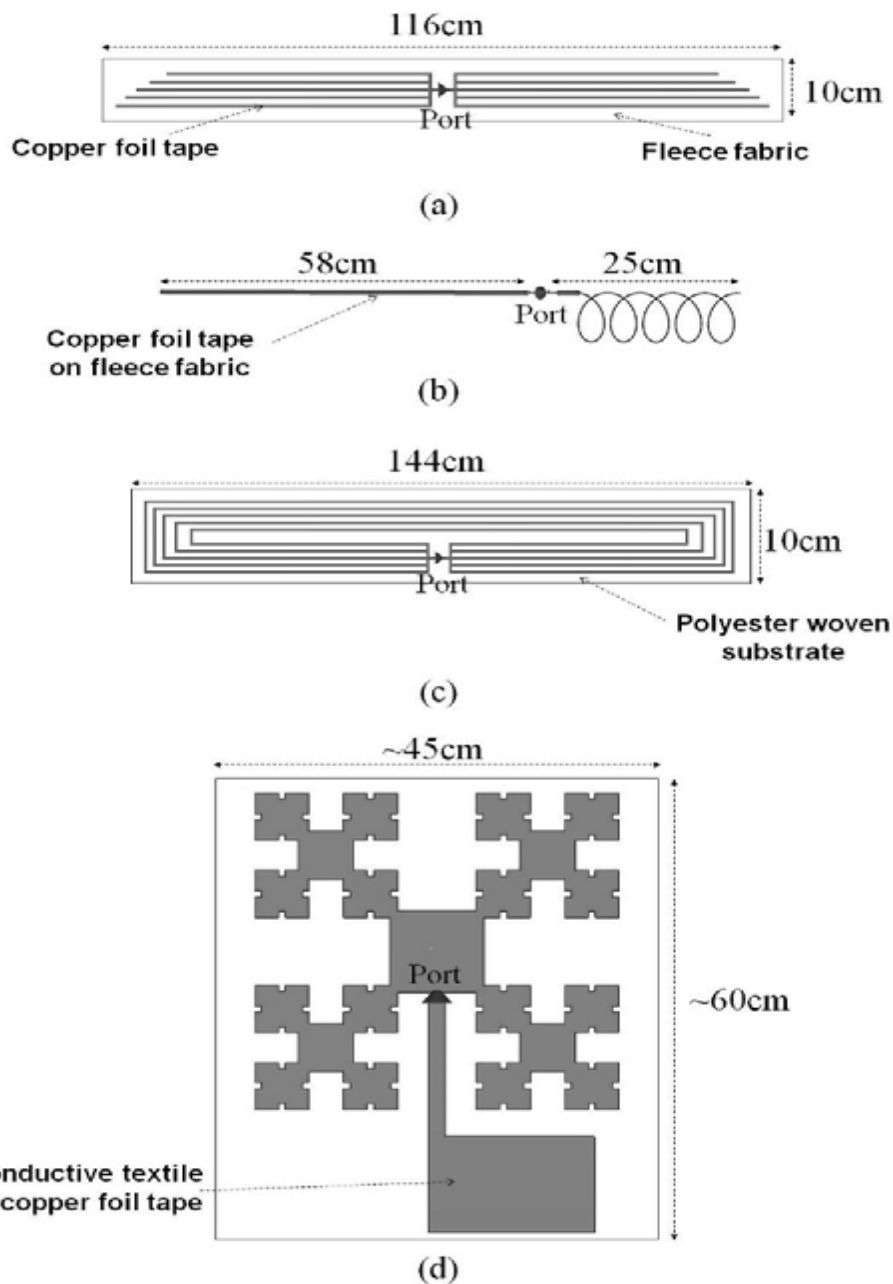
Ευέλικτη φράκταλ κεραία (τρίτης τάξης Minkowski fractal geometry) έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί σε 136MHz(Land Mobile Radio systems), χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικά αγώγιμα υλικά, που είναι ταινία χαλκού και ένα αγώγιμο κλωστοϋφαντουργικό προϊόν (ShieldIt Super Fabric από την LessEMF Inc.)<sup>7</sup>. Δεδομένου ότι η κεραία είναι αρκετά μεγάλη (περίπου 45cmx60cm), μπορεί να τοποθετηθεί μόνο στον κορμό ή στο πίσω μέρος του σώματος (Εικ. 5d). Μία σχετικά μικρή μεταλλική λωρίδα σχήματος L (μεγέθους 11cmx18cm) πραγματοποιείται στην ίδια στρώση όπως και για το φρεματικό ψυγείο, το οποίο λειτουργεί ως μεταλλικό αντίβαρο για τη ρύθμιση της κεραίας.

Η μεταλλική επιφάνεια του κράνους χρησιμοποιείται ως το επίπεδο γείωσης της κεραίας, το οποίο καταλαμβάνει μια λωρίδα σε όλη την ημι-περιφέρεια του κράνους (μια σφαίρα με διάμετρο 20 cm έχει θεωρηθεί για το μοντέλο κεφαλής). Ορισμένα παρασιτικά στοιχεία και ένα διηλεκτρικό διαχωριστικό (με μη ομοιόμορφο πάχος) μεταξύ του στοιχείου ακτινοβολίας και της μεταλλικής επιφάνειας του κράνους χρησιμοποιούνται για τη μεγέθυνση του εύρους ζώνης απώλειας επιστροφής. Παρόλα αυτά, λόγω του χαμηλού πάχους της κεραίας (μόνο μερικά εκατοστά) το εύρος ζώνης σύνθετης αντίστασης είναι μικρότερο από αυτό που απαιτείται για τις αστυνομικές και πυροσβεστικές επικοινωνίες στην Ιαπωνία (146-156MHz). Μια άλλη κεραία κράνους στενής ζώνης που λειτουργεί σε περίπου 150MHz μελετήθηκε αριθμητικά.<sup>8</sup>

---

<sup>7</sup> E.C. Lee, P.J. Soh, N.B.M. Hashim, G.A.E. Vandenbosh, V. Volski, I.Adam, H. Mirza, M.Z.A.A. Aziz, "Design and fabrication of a flexible Minkowski fractal antenna for VHF applications," *2010 European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, pp. 521-524,2010.

<sup>8</sup> Takuma Nakao, Nguyen Tuan Hung, Mio Nagatoshi and Hisashi Morishita, "Fundamental Study on Curved Folded Dipole Antenna," *2012 IEEE Antennas and Propagation Symposium*, pp. 1-2, 2012.



Εικόνα 5: Διάταξη κάποιων κεραιών που μπορούν να φορευθούν με VHF: α) δίπολο διπλού μήκους ημικυκλικού μήκους τεσσάρων δακτύλων]. β) έλικα κανονικής λειτουργίας σχεδιασμένο για να βρίσκεται κατά μήκος των ανθρώπινων βραχιόνων, με την έλικα τυλιγμένη γύρω από τον βραχίονα ενός χρήστη. γ) πολυεγκεφαλική κεραία κατασκευασμένη από πέντε διπλωμένα διπλωμένα δίπτυχα συνδεδεμένα παράλληλα. δ) ευέλικτη φράκταλ κεραία Minkowski τρίτης τάξης. Όπως συμβαίνει για τις φορητές κεραιές ευρείας ζώνης VHF, οι τοπολογίες σε αυτό το σχήμα δεν περιλαμβάνουν μεταλλικό ανακλαστήρα.

Ο σχεδιασμός της κεραίας ξεκινά από μια διπλωμένη κεραία, η οποία στη συνέχεια καμπυλώνεται και προσαρμόζεται πάνω σε μια ημισφαιρική επιφάνεια (ένα διηλεκτρικό κράνος με ακτίνα 12.5cm έχει ληφθεί υπόψη στην αριθμητική ανάλυση). Όσο για το κράνος, οι ανθρώπινοι ώμοι αντιπροσωπεύουν επίσης μια άλλη "πρωταρχική θέση" για φορητές κεραίες, καθώς οι υψηλότερες θέσεις κεραίας βελτιώνουν την απόδοση του μοτίβου ακτινοβολίας. Ένας ρυθμιζόμενος βρόχος πολλαπλών στροφών, ο οποίος μπορούσε να προσαρμοστεί στον ώμο, παρουσιάστηκε<sup>9</sup>, ο οποίος ήταν σε θέση να λειτουργήσει μεταξύ 150 και 170MHz, με μια συντονισμένη ζώνη περίπου 1,5 MHz (για ένα αστυνομικό προσωπικό ραδιοφωνικό σύνολο). Το μέγεθος της κεραίας είναι 6.75cmx6.75cm, με πάχος 1.75cm. Η κεραία περιλαμβάνει δύο πυκνωτές συντονισμού και είναι προσαρτημένος σε ένα αντίβαρο πλάτους 11,25cmx16,25cm, το οποίο είναι το μικρότερο μέγεθος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί πριν από μια αισθητή μείωση κέρδους που προκύπτει από την απορρόφηση του σώματος. Σε σύγκριση με μια συμβατική κεραία εμβολοφόρου μήκους μήκους 15cm, η κεραία πολλαπλών βρόχων παρουσιάζει μια μέση αύξηση κέρδους 3,8dB (στο αζιμουθιακό επίπεδο), εις βάρος ενός στενότερου εύρους ζώνης. Με βάση εκτεταμένες δοκιμές μέτρησης, οι συγγραφείς δηλώνουν ότι η ρύθμιση της κεραίας πρέπει απαραίτητα να πραγματοποιείται όταν η κεραία είναι στο σώμα του χρήστη, λόγω σημαντικής επίδρασης του ανθρώπινου σώματος. Τα πρότυπα ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο έχουν μετρηθεί τόσο για τις κεραίες πολλαπλών στροφών όσο και για τις κεραίες μαστιγίων, για ένα σύνολο θέσεων στο σώμα και για τη στάση του χρήστη. κεραίες είναι κεραίες

---

<sup>9</sup> H.E. King, "Characteristics of body-mounted antennas for personal radio sets," IEEE Trans. on Antennas and Propagation, vol. 23(2), pp. 242-244, March 1975.

### 2.3.2 UHF ΚΑΙ ΚΕΡΑΙΕΣ ΠΟΥ ΦΟΡΙΟΥΝΤΑΙ

Για πολλές εφαρμογές στην κατώτερη ζώνη UHF, μια κεραία ενσωματωμένη σε ρούχα αντιπροσωπεύει μια έγκυρη εναλλακτική λύση σε μικρές κεραίες χαμηλής απόδοσης που είναι εσωτερικές της συσκευής / φορητού ακουστικού ή ογκώδεις εξωτερικές προεξέχουσες κεραίες. Σε σχέση με τις κεραίες ζώνης VHF, η υψηλότερη συχνότητα επιτρέπει την υλοποίηση ελαφρώς πιο πολύπλοκων κεραιών πολλαπλών επιπέδων<sup>10</sup>, επιπρόσθετα απλούστερες κεραίες που μοιάζουν με δίπολο μονής στρώσης<sup>11</sup>- οι κεραίες που είναι τυπωμένες σε σχιστόλιθο / δίπολο<sup>12</sup>, διπόλες σε παχιά κεραμικά υποστρώματα<sup>13</sup> (Εικόνα 6). Οι ευρυζωνικές κεραίες που μπορούν να φορεθούν για λήψη DTV έχουν πραγματοποιηθεί με τη χρήση διατάξεων ευρείας ζώνης διπλής όψης και υποδοχής,<sup>14</sup> ενώ οι περισσότερες από τις προτεινόμενες λύσεις για φορητές μικροσκοπικές κεραίες βασικής ζώνης στα 406 MHz είναι διπόλες με σπειροειδείς βραχίονες<sup>15</sup> ή με δίπτυχα δίπολων<sup>16</sup>

---

<sup>10</sup> M. Svanda, M. Polivka, and P. Hudec, "Parametric study of the lowprofile foam dielectric over-the-shoulder antenna based on coupled patches technique," 2013 European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Gothenburg, Sweden, pp. 207-210, April 2013

<sup>11</sup> D. Psychoudakis, C.-C. Chen and J.L. Volakis, "Wearable UHF Antenna for Squad Area Networks (SAN)," IEEE 2008 Antennas and Propagation Symposium, pp. 1-4, San Diego, CA, July 5-11, 2008.

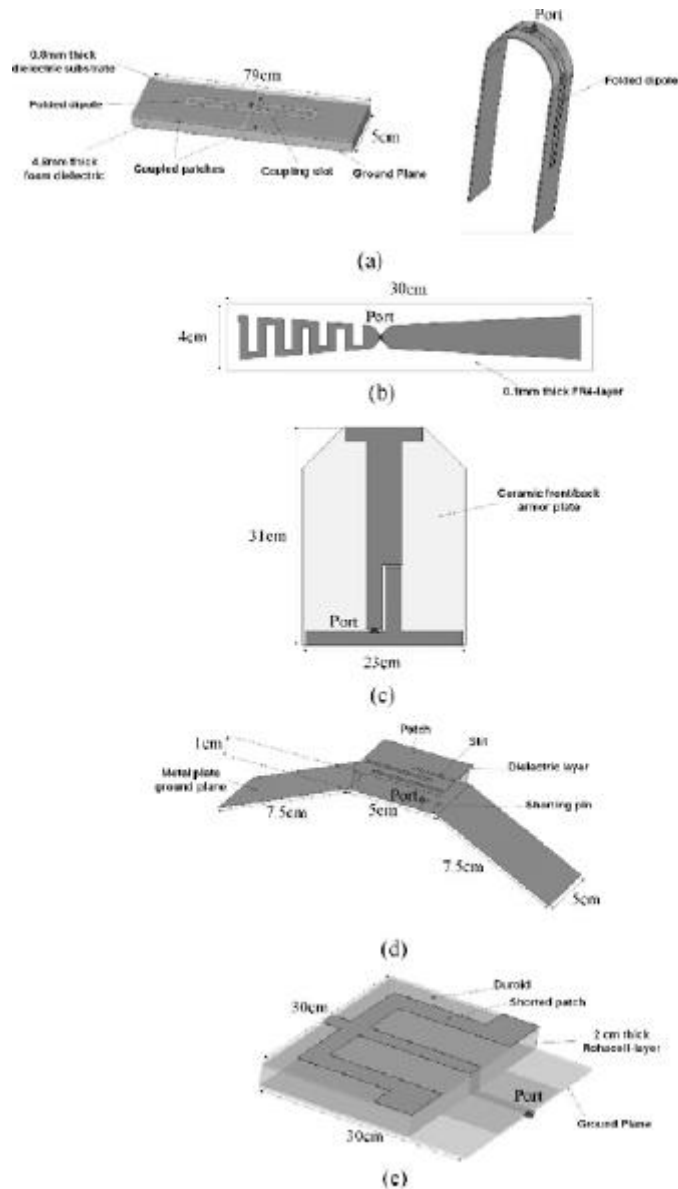
<sup>12</sup> A. Sabban, "New wideband printed antennas for medical applications," IEEE Trans. on Antennas and Propagation, vol. 61(1), pp. 84-91, January 2013

<sup>13</sup> Z. Wang, L. Zhang, D. Psychoudakis, J.L. Volakis, "Flexible textile antennas for body-worn communication," 2012 IEEE International Workshop on Antenna Technology (IWAT), pp: 205– 208, 2012.

<sup>14</sup> Kota Furuya, Yusuke Taira, Hisao Iwasaki, Shio Yamamoto, Naoya Tamaki, Takashi Harada, Akio Kuramoto, "Wide band wearable antenna for DTV reception," 2008 IEEE Antennas and Propagation Symposium, pp. 1-4, 2008

<sup>15</sup> R.D. Seager, A. Chauraya, J.C. Vardaxoglou, P. de Maagt, "Towards a compact low frequency woven antenna," IEEE 2009 Antennas and Propagation Symposium, pp. 1-4, 2009.

<sup>16</sup> H.J. Visser, A.C.F. Reniers, "Textile antennas, a practical approach," 2007 European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), pp. 1-8, 2007



**Εικόνα 6: Διάταξη κάποιων κεραιών χαμηλής ζώνης UHF που μπορούν να φορευθούν: α) γειωμένη κεραία κατασκευασμένη από δύο επιθέματα με σχισμές για την τοποθέτηση πάνω από την τοποθέτηση των στελεχών β) ασύμμετρο δίπολο γ) ασύμμετρο δίπολο που πραγματοποιείται στο κεραμικό πλακίδιο θωρακισμένων γιλέκων δ) PIFA χαμηλού προφίλ με δυνατότητα τοποθέτησης στον ώμο (δεν εμφανίζεται η ομοαξονική τροφοδοσία) ε) ευρείας ζώνης χαμηλού προφίλ τυπωμένου σε σχήμα PIFA.**

## A. Φορητές κεραίες που λειτουργούν μέχρι περίπου 600 MHz

Κεραία διπολικής λωρίδας (μήκους 67cm και πλάτους 7,9cm) που λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων 220-370 MHz μπορεί να τροποποιηθεί<sup>17</sup> για να έχει τη μέγιστη δυνατή απόδοση (όσον αφορά την αντιστοίχιση εμπέδησης και την ομοιομορφία του επιπέδου αζιμουθίου) όταν τοποθετηθεί στον ώμο (ένας βραχίονας διπόλων βρίσκεται στην μπροστινή πλευρά και ο άλλος βραχίονας βρίσκεται στο πίσω μέρος). Η μεταλλική γεωμετρία των βραχιόνων διπόλου (χωρισμένη σε εικονοκύτταρα τετραγωνικής επιφάνειας) έχει βελτιστοποιηθεί μέσω ενός γενετικού αλγορίθμου. Χρησιμοποιείται ένα ομοιογενές διηλεκτρικό μοντέλο με διαπερατότητα των μυών, με ένα διάκενο 1 εκατοστού μεταξύ της μεταλλικής ταινίας και της επιφάνειας του μοντέλου. Διαφορετικά από τις συμβατικές κεραίες που μοιάζουν με δίπολο UHF, η βελτιστοποιημένη κεραία δεν εμφανίζει μηδενικά στο οριζόντιο σχέδιο. Μια άλλη κεραία που μπορεί να φορεθεί ως λουρί πάνω από τον ώμο έχει προταθεί<sup>18</sup>. Λειτουργεί στη ζώνη 380-390MHz. Η συμβατική κεραία χαμηλού προφίλ πολλαπλών στρωμάτων (γειωμένη) είναι κατασκευασμένη από δύο γειτονικά μήκη μακράς επιπολής, τα οποία συνδέονται έντονα με μια στενή σχισμή (εικόνα 6α). Τα έμπλαστρα διεγείρονται από διπλωμένο δίπολο που είναι κεντραρισμένο στην κορυφή της υποδοχής. Διηλεκτρικός αφρός χρησιμοποιείται ως υπόστρωμα και τα αγωγιμα μέρη κατασκευάζονται από μια ταινία χαλκού. Το συνολικό μέγεθος της ξεδιπλωμένης κεραίας είναι 790mmx50mmx5.6mm. Η κεραία που αναδιπλώνεται γύρω από τον ώμο καθορίζει δύο μηδενικές κατευθύνσεις στο μοτίβο ακτινοβολίας σε επίπεδο αζιμούθου (οι μηδενικές κατευθύνσεις είναι παράλληλες με τον κορμό του σώματος).

Ένα συμπαγές ασυμμετρικό δίπολο με ραβδώσεις για επικοινωνίες στα 300MHz έχει εφαρμοστεί<sup>19</sup> σε ένα εύκαμπτο υπόστρωμα FR4 πάχους 0,1mm (Σχήμα 6b), χωρίς μεταλλική υποστήριξη. Μόνο ένας βραχίονας του διπόλου είναι ελεύθερος, ενώ ο άλλος χρησιμοποιείται για να φιλοξενήσει ένα BAL-UN. Το μήκος του διπόλου είναι κοντά στα 30cm και το πλάτος του είναι μικρότερο από 4cm. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με την κεραία τοποθετημένη στο κέντρο της περιοχής του κορμού μιας πλαστικής κούκλας γεμάτης

<sup>17</sup> D. Psychoudakis, C.-C. Chen and J.L. Volakis, "Optimizing wearable UHF antennas for on-body operation," *IEEE 2007 Antenna and Propagation Symposium*, pp. 4184-4187, 2007

<sup>18</sup> M. Svanda, M. Polivka, and P. Hudec, "Novel low-profile foam dielectric over-the-shoulder antenna based on coupled patches technique," *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 55(3), pp. 593-597, March 2013.

<sup>19</sup> M. Svanda, M. Polivka, and P. Hudec, "Parametric study of the lowprofile foam dielectric over-the-shoulder antenna based on coupled patches technique," 2013 European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Gothenburg, Sweden, pp. 207-210, April 2013

με υγρό ισοδύναμο με ανθρώπινο ιστό. Το δίπολο φωτοβολίδων εμφανίζει ένα μετρημένο κέρδος γεωμετρίας κοντά στο  $-15\text{dBi}$  στα  $300\text{MHz}$ , το οποίο μπορεί να αυξηθεί αφήνοντας κάποιο διάστημα μεταξύ της κεραίας και του φανταστικού κελύφους. Πράγματι, κατά την κίνηση της κεραίας από  $0,25$  σε  $1,25$  εκατοστά από την πλαστική κούκλα παρατηρήθηκε μια αύξηση  $5\text{dB}$  στο προσομοιωμένο κέρδος. Μια κεντημένη εκδοχή του ασύμμετρου διπόλου] (που λειτουργεί στη ζώνη  $500\text{-}600\text{MHz}$ ) έχει πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας πολύ εύκαμπτες αγώγιμες ίνες σε<sup>20</sup>. Ίνες Zylon Επικαλυμμένες με άργυρο έχουν χρησιμοποιηθεί για να κεντρίσουν τη γεωμετρία διπόλων σε ένα ύφασμα από πολυεστέρα χρησιμοποιώντας μια ψηφιακά ελεγχόμενη μηχανή κεντήματος. Το διπλό στρώμα κεντήματος επελέγη για να ελαχιστοποιήσει τις φυσικές ασυνέχειες και να επιτύχει υψηλή πυκνότητα ραφής, αυξάνοντας έτσι την αγωγιμότητα της κεντημένης επιφάνειας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν οι εφαρμογές αυτών των συστημάτων σε στρατιωτικούς εξοπλισμούς, εξοπλισμούς διάσωσης, εντοπισμού κλπ. και πώς τα συστήματα αυτά προσαρμόζουν τον τρόπο κατασκευής τους ανάλογα με τη χρήση και τον σκοπό που επιτελούν.

### 3.1 ΦΟΡΗΤΕΣ ΚΕΡΑΙΕΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΕΣ ΓΙΑ ΑΛΕΞΙΣΦΑΙΡΑ ΓΙΛΕΚΑ

Ορισμένες ενδιαφέρουσες λύσεις για φορητές κεραίες είναι εκείνες που αξιοποιούν το πάχος και τις ιδιότητες υλικών ορισμένων προστατευτικών ενθέτων που περιλαμβάνονται στα τυπικά θωρακισμένα γιλέκα για το προσωπικό επιβολής του νόμου και τους στρατιώτες. Στο [69], ένα σύνολο από δίπολο κεραίες που λειτουργούν στη ζώνη  $225\text{-}450\text{MHz}$  έχει σχεδιαστεί για να ταιριάζει στις σκληρές κεραμικές ενισχυμένες (αλεξίσφαιρες) πλάκες της θωράκισης σώματος βελτιωμένης εξωτερικής τακτικής (IOTV) (Εικ. 6c). Η μετρηθείσα σχετική διαπερατότητα των κεραμικών πλακών είναι μεγαλύτερη από  $10$ , επιτρέποντας έτσι τη μικρογράφηση της κεραίας. Τα ασύμμετρικά δίπολα επελέγησαν καθώς παρέχουν ένα ευρύτερο εύρος ζώνης σύνθετης αντίστασης σε σύγκριση με δίπολα

---

<sup>20</sup> Z. Wang, L. Zhang, D. Psychoudakis, J.L. Volakis, "Flexible textile antennas for body-worn communication," pp: 205–208, 2012



που τροφοδοτούνται στο κέντρο, διεγείροντας έναν άλλο τρόπο συντονισμού δίπλα στον θεμελιώδη τρόπο λειτουργίας. Το σχήμα του διπόλου βελτιστοποιήθηκε για να εκμεταλλευτεί τη μέγιστη επιφάνεια των κεραμικών πλακιδίων: πλάτος 16cm x 20cm για τις πλευρικές πλάκες, πλάτος 23cmx31cm για τις πλάκες μπροστά / πίσω. Στην [70], μια πολυστρωματική δομή ενός θωρακισμένου γιλέκου έχει ενσωματωθεί σε μια πολυστρωματική δομή για τη βελτίωση των επιδόσεων απώλειας επιστροφής φορτωμένων γειωμένων διπολικών κεραιών (όπου το μεταλλικό έδαφος προστέθηκε για να περιορίσει την έκθεση του φορέα σε RF και να αυξήσει την κεραία αποδοτικότητα). Ο σχεδιασμός διεξήχθη στη ζώνη συχνοτήτων TETRA 400MHz (TETRA - TErrestrial Trunked Radio - είναι το σύστημα προσωπικής επικοινωνίας που χρησιμοποιείται στην Ευρώπη για υπηρεσίες αστυνόμευσης και έκτακτης ανάγκης). Η δομή του HIS είναι η ακόλουθη: η επιλεκτική της συχνότητας επιφάνειας αποτελείται από μια συστοιχία 15x15 διαστρωμένων σπειροειδών στοιχείων (23mm είναι η πλευρά της μονάδας μονάδας). Το HIS είναι τοποθετημένο επάνω σε μια επένδυση θωράκισης 1cm κατασκευασμένη από ένα στρώμα ινών αραμιδίου και ένα στρώμα μεταλλικών σπειρωμάτων, τα οποία χρησιμοποιούνται ως διηλεκτρικό υπόστρωμα και το επίπεδο γείωσης του HIS, αντίστοιχα. Για να δείξει τα πλεονεκτήματα του HIS, ένα δίπολο μεγέθους 28cmx6cm σχεδιάστηκε για να λειτουργεί στην επιφάνεια HIS. Τόσο η διπολική όσο και η εκλεκτική επιφάνεια συχνότητας εκτυπώθηκαν σε ένα λεπτό πολυεστερικό στρώμα και διαχωρίζονται από ένα στρώμα τζην πάχους 1 cm.

### **3.2 ΦΟΡΗΤΕΣ ΚΕΡΑΙΕΣ ΧΑΜΗΛΟΥ ΟΠΤΙΚΟΥ ΠΡΟΦΙΛ**

Έχει προταθεί<sup>21</sup> ένα PIFA χαμηλού προφίλ με δυνατότητα τοποθέτησης σε ώμο για την εφαρμογή κεραίας βασικής ζώνης για αστυνομικά και πυροσβεστικά ραδιόφωνα στα 350MHz, για χρήση ξεχωριστά από τη μονάδα ραδιοεπικοινωνίας (εικ. 6d). Το μέγεθος της κεραίας είναι 5cmx5cm, με πάχος 1cm. Το αγώγιμο στοιχείο τυπώνεται σε διηλεκτρικό στρώμα πάχους 0,6 mm και ένα διάκενο αέρα το χωρίζει από το επίπεδο γείωσης. Ο συντονισμός επιτυγχάνεται με έναν πυκνωτή μεταξύ του σημείου τροφοδοσίας και του ομοαξονικού συνδετήρα. Επιπλέον, μερικές σχισμές στο αγώγιμο στοιχείο συμβάλλουν στη μείωση της συχνότητας συντονισμού. Ένα επίπεδο γείωσης, το οποίο έχει πλάτος 5 εκατοστά και μήκος σχεδόν 20 εκατοστών, μπορεί να μειώσει αποτελεσματικά την υποβάθμιση της απόδοσης της ακτινοβολίας λόγω των ρευμάτων διαρροής στην εξωτερική επιφάνεια του εξωτερικού αγωγού του καλωδίου (το τελευταίο είναι ένα τυπικό ζήτημα σε

<sup>21</sup> K. Ogawa, T. Uwano, M. Takahashi, "A very small shoulder pad planar antenna for mobile radio applications," 1997 IEEE Antennas and Propagation Symposium, pp. 406-409, 1997.

χαμηλής συχνότητας κεραίες με μικρό επίπεδο γείωσης). Στην πραγματικότητα, προκειμένου να καταστεί η σύμμορφη κεραία για το ανθρώπινο ώμο, το εύκαμπτο επίπεδο γείωσης είναι κατασκευασμένο από δύο λεπτές πλάκες ανοξείδωτου (0,05 χιλιοστών πάχους και 7 εκατοστά μήκος) που είναι προσαρτημένα σε δύο αντίθετες πλευρές του επιπέδου. Ένα πρωτότυπο τοποθετημένο σε έναν ανθρώπινο ώμο επιτυγχάνει ένα κέρδος -5,5 dBd, το οποίο είναι 3,5 dB μεγαλύτερο από το κέρδος μιας συμβατικής συρματοκεραίας μήκους 21 cm (το μέσο αζιμουθιακό κέρδος είναι -8.1dBd). Οι μετρήσεις σε ένα φθαρμένο πρωτότυπο απέδειξαν ότι η σύνθετη αντίσταση εισόδου κεραίας είναι ισχυρή σε σχέση με την παρουσία του σώματος, ενώ το κέρδος της κεραίας μπορεί να βελτιστοποιηθεί ελέγχοντας την απόσταση της κεραίας από τον ανθρώπινο ώμο και το κεφάλι. Η κεραία PIFA που τοποθετήθηκε στον ώμο χρησιμοποιήθηκε ως κεραία λήψης κατά τη διάρκεια μιας εκστρατείας μέτρησης σε πραγματικό σενάριο διάδοσης πολλαπλών διαδρομών (μια διαδρομή γύρω από κτίρια ύψους 20 μέτρων).<sup>22</sup>

Η μέση ισχύς που λήφθηκε ήταν 4-5 dB υψηλότερη από αυτή μιας συρματοκεραίας που μεταφέρθηκε σε μια θήκη στο στήθος. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι το παραπάνω αποτέλεσμα συμφωνούσε με τη διαφορά μεταξύ των μετρημένων μέσων κερδών των δύο κεραίων.

Έχει σχεδιαστεί ένα χαμηλού προφίλ εκτυπωμένο σε σχήμα E PIFA (Σχήμα 6e) στο [73] για τη ζώνη 380-400MHz του συστήματος TETRAPOL για κρυφές λειτουργίες (TETRAPOL είναι μια ψηφιακή PMR-επαγγελματική κινητή ραδιο-τεχνολογία για χρήστες κρίσιμης σημασίας για τη δημόσια ασφάλεια). Η δομή χαμηλού προφίλ επιτρέπει στην κεραία να παραμένει αόρατη όταν καλύπτεται από ένα στρώμα ρούχων (χαμηλή οπτική υπογραφή) και να είναι πιο διακριτική από μια συρματοκεραία. Η κεραία έχει σχεδιαστεί για να καλύπτει ένα εύρος ζώνης μεγαλύτερο από το ονομαστικό, προκειμένου να παραμείνει ακόμα σε λειτουργία όταν καλύπτεται από υγρό ρουχισμό, λάσπη ή χιόνι ή όταν η απόσταση του σώματος-κεραίας αλλάζει λόγω των κινήσεων του σώματος ή των ιδιοτήτων του ρούχου κάτω από / πάνω από την κεραία.

---

<sup>22</sup> K. Ogawa, T. Uwano, M. Takahashi, "A shoulder-mounted planar antenna for mobile radio applications, IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol. 49 (3), pp. 1041-1044, 2000.

### 3.3 ΦΟΡΗΤΕΣ ΚΕΡΑΙΕΣ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΩΣΗΣ

Το 2009, η συχνότητα λειτουργίας όλων των σηματοδοτών αναζήτησης και διάσωσης (SAR) (π.χ. Προσωπικός φανός εντοπισμού, PLB και πομποί εντοπισμού έκτακτης ανάγκης, ELT) σταθεροποιήθηκε στα 406MHz<sup>23</sup>. Σε αυτό το πλαίσιο, οι φορητές κεραίες μπορούν να είναι χρήσιμες για τη βελτίωση της απόδοσης και της ανθεκτικότητας σε ακούσια ατυχήματα PLB. Έχει ληφθεί μια συμπαγής κεραία χρησιμοποιώντας ένα διασταυρωμένο δίπολο κυκλικής πολωμένης κυκλικής διατομής (RHCP)<sup>24</sup>, των οποίων οι βραχίονες είναι σπειροειδείς σε σπείρες για τη μείωση του μεγέθους της κεραίας (η σπείρα είναι πλάτους 73 mm). Το δίπολο τροφοδοτείται μέσω μιας γραμμής μικροδιακοπής που είναι ηλεκτρομαγνητικά συνδεδεμένη με τις σπείρες. Σε ένα πρώτο πρωτότυπο, μια τυπωμένη σταυρωτή διπολική κατασκευάστηκε σε ένα λεπτό διηλεκτρικό υπόστρωμα και στη συνέχεια επικολλήθηκε σε ένα υπόστρωμα πιλήματος χρησιμοποιώντας μη αγώγιμη ταινία, ενώ ένα φύλλο χαλκού χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση του επιπέδου γείωσης της κεραίας. Αργότερα,<sup>25</sup> πραγματοποιήθηκε μια κεντημένη κλωστοϋφαντουργική έκδοση της παραπάνω κεραίας CP και χρησιμοποιήθηκε για τη δοκιμή της απώλειας επιστροφής της κεραίας υπό συνθήκες κάμψης, καθώς και στην εγγύτητα του νερού.

Πιο πρόσφατα, έχει σχεδιαστεί και δοκιμαστεί ένα σύστημα δύο κεραιών που χρησιμοποιεί δύο γειωμένα διπλωμένα δίπτυχα, τα οποία έχουν δοκιμαστεί<sup>26</sup>. Και τα δύο δίπολα έχουν μήκος 30εκ. Τα δίπολα τοποθετούνται πάνω στα πλωτά στοιχεία ενός εμπορικού σωσίβιου, στην εμπρόσθια πλευρά και στις πλευρές του λαιμού, για να ακτινοβολούν τα δωρεάν πρότυπα ακτινοβολίας μεταβάλλοντας τις δύο κεραίες κατά τη διάρκεια των διαστημάτων μετάδοσης. Το επίπεδο γείωσης υλοποιείται με ένα αγώγιμο φύλλο συνδεδεμένο στην αντίθετη πλευρά του πλωτού στοιχείου, σε απόσταση 9 cm (περίπου 1/8 του ελεύθερου χώρου μήκους κύματος στα 406MHz) μακριά από το δίπολο, το οποίο αντιστοιχεί στο πάχος του πλωτού αφρώδους υλικού. Το φαινόμενο θωράκισης του εδάφους επιτυγχάνει μια πολύ σταθερή περιοχή κεραίας. Έχει εισαχθεί μια στατιστική ανάλυση των μετρήσεων απώλειας επιστροφής, για έναν ουσιαστικό χαρακτηρισμό των διακυμάνσεων που

<sup>23</sup> R.D. Seager, A. Chauraya, J.C. Vardaxoglou, P. de Maagt, "Towards a compact low frequency woven antenna," IEEE 2009 Antennas and Propagation Symposium, pp. 1-4, 2009.

<sup>24</sup> R.D. Seager, A. Chauraya, J.C. Vardaxoglou, P. de Maagt, "Fabric antennas integrated with metamaterials," pp. 533-535, Pamplona, Spain, 2008.

<sup>25</sup> R.D. Seager, A. Chauraya, J.C. Vardaxoglou, P. de Maagt, "Towards a compact low frequency woven antenna," Antennas and Propagation Symposium, pp. 1-4, 2009.

<sup>26</sup> A. Serra, P. Nepa, and G. Manara, "A wearable two-antenna system on a life jacket for Cospas-Sarsat Personal Locator Beacons," IEEE Trans. Antennas and Propagation, 60 (2), part II, pp. 1035-1042, 2012.

προκαλούνται από κινήσεις τυχαίου χρήστη. Η προτεινόμενη διαμόρφωση κεραίας παρουσιάζει σταθερή απόδοση τόσο από την ηλεκτρική όσο και από την μηχανική άποψη. Ένα θερμαντικό σώμα κατασκευασμένο από δύο ορθογώνια δίηλια μελανιού έχει σχεδιαστεί για να παρέχει μια κεραία διπλής ζώνης για PLBs στα 406MHz και στρατιωτικά συστήματα επικοινωνίας για εκπομπή στα 850MHz, αντίστοιχα <sup>27</sup>. Τα δίπολα κατασκευάζονται από ταινία χαλκού και διάφορα υφαντικά υλικά έχουν δοκιμαστεί ως υποστρώματα κεραίας (τζιν, Policot, Polyester).

Επειδή τα παραπάνω υφαντουργικά υλικά έχουν παρόμοιες ηλεκτρομαγνητικές παραμέτρους, έχουν παρατηρηθεί συγκρίσιμα αριθμητικά αποτελέσματα. Τέλος, έχουν σχεδιαστεί και δοκιμασθεί <sup>28</sup> δύο σύνθετες κεραίες ενσωματωμένες σε ένα φουσκωτό σωσίβιο, για λειτουργία με ένα εμπορικό τερματικό χρήστη COSPAS-SARSAT. Μία κεραία-patch (28,3cmx6,5cmx1,75cm) εκπέμπει στα 406MHz, ενώ ένα ελικοειδές δίπολο (πλάτος 29,7cmx3,3cm) με ιμάντα γείωσης έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί σε 121,5MHz.

### **3.4 ΚΕΡΑΙΕΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**

Ένα συμπαγές και εύκαμπτο κλωστοϋφαντουργικό PIFA έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί σε 860MHz, για ενσωμάτωση σε μανίκι χιτωνίου<sup>29</sup> (Εικ. 7b).

Μια ηλεκτρομαγνητική ζεύξη μεταξύ του έμπλαστρου και της γραμμής τροφοδοσίας μικροδίσκων βοηθά στην αποφυγή της συγκόλλησης. Τα νήματα που έχουν χρησιμοποιηθεί για τα αγώγιμα μέρη της κεραίας είναι επιχρισμένα με επάργυρα νήματα πολυαμιδίου. Στο κέντρο του patch βρίσκεται ένας πείρος βραχυκυκλώματος και τα μέγιστα των μοτίβων ακτινοβολίας ευρίσκονται σε επίπεδο παράλληλο προς την κεραία, έτσι ώστε να μοιάζουν με τα χαρακτηριστικά των κεραμιδιών επίστρωσης microstrip υψηλότερης τάξης που προτείνονται για μετάδοση σήματος κοντά στο σώμα. Το μέγεθος του patch είναι 40mmx40mm, πάνω σε ένα τετραγωνικό επίπεδο γείωσης με πλάτος πλάτους 10cm. Ένα μεγαλύτερο ορθογώνιο patch (146.5mmx126.5mm) σχεδιάστηκε για να λειτουργεί σε

<sup>27</sup> G. George, N.R.D. Thiripurasundari, R. , Z.C. Alex, “ Design of meander line wearable antenna”, pp. 1190-1193, 2013.

<sup>28</sup> J. Lilja, V. Pynttari, T. Kaija, R. Makinen, E. Halonen, H. Sillanpaa, J. Heikkinen, M. Mantysalo, P. Salonen, and P. de Maagt, “Body-worn antennas making a splash: life-jacket-integrated antennas for global search and rescue satellite systems, IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 55(2), pp. 324-340, April 2013

<sup>29</sup> M. Orefice, D. Pedrazzi, P. Pirinoli, G. Dassano, “An electrically-small wearable textile antenna for security applications,” pp. 3270-3273, April 2013.

περίπου 832MHz<sup>30</sup>. Το σχέδιο διαστρωμάτωσης και γείωσης είναι κατασκευασμένο από ένα φύλλο χαλκού επικολλημένο σε υφασμάτινο υπόστρωμα Bakhram (μετρούμενη σχετική διηλεκτρική διαπερατότητα ίση με 2.03).

Κεραία βραχυκυκλωμένου συνδέσμου που λειτουργούσε στη ζώνη 902-928MHz σχεδιάστηκε <sup>31</sup> για να συνδυαστεί με εύκαμπτα φωτοβολταϊκά κύτταρα, για να πραγματοποιήσει έναν συμπαγή ασύρματο κόμβο (Εικόνα 7c). Το υπόστρωμα της κεραίας είναι ένας εύκαμπτος αφρός πολυουρεθάνης, ενώ το υπόστρωμα τροφοδοσίας κατασκευάζεται με τη συναρμολόγηση δύο στρώσεων υφασμάτων από νήματα αραμιδίου που τυπικά χρησιμοποιούνται ως εξωτερική στρώση σε σακάκια πυροσβεστών. Το αγωγίμο έμπλαστρο (6,2cmx8cm μεγάλο) και το επίπεδο γείωσης (12cmx12cm) είναι φτιαγμένα από νάιλον ύφασμα επικαλυμμένο με χαλκό (Flectron), ενώ η γραμμή τροφοδοσίας κατασκευάζεται χρησιμοποιώντας φύλλο χαλκού. Το πάχος της κεραίας είναι περίπου 12mm. Το μέγιστο κέρδος είναι 1,6 dBi.

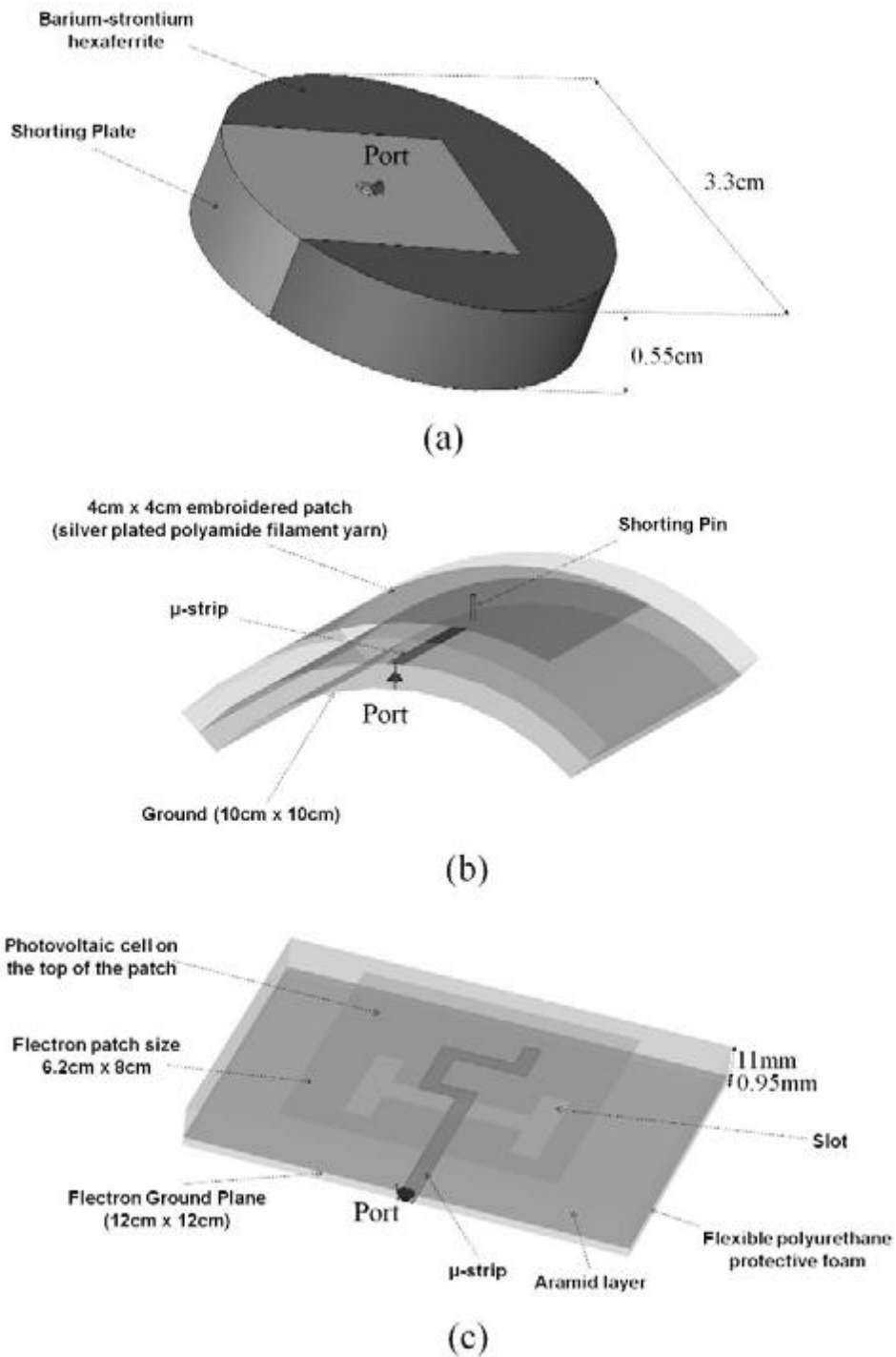
Αν και δεν σχετίζεται άμεσα με τις κεραίες που φοριούνται, είναι ενδιαφέρον να αναφέρουμε ένα έμπλαστρο με μια σχισμή σε σχήμα πέταλου (U) που έχει σχεδιαστεί για να ενσωματώνεται μεταξύ των υφασμάτινων στρωμάτων, για την ανίχνευση σημείων καρδιακού παλμού ενός ασθενούς κατά τη διάρκεια ιατρικών εξετάσεων<sup>32</sup>, στα 868 MHz. Η κεραία-patch (3.5cmx3.5cm) τυπώνεται σε στρώμα Teflon πάχους 8mm (το μέγεθος του υποστρώματος είναι 4.9cmx7.6cm).

---

<sup>30</sup> B. Roy, A.K. Bhattecha, S.K. Choudhury, "Characterization of textile substrate to design a textile antenna," pp. 1-5, 2013.

<sup>31</sup> F. Declercq, A. Georgiadis, and H. Rogier, "Wearable aperture-coupled shorted solar patch antenna for remote tracking and monitoring applications," pp. 2992-2996, 2011.

<sup>32</sup> R. Hahnel, Q. Wang, R. Trieb, D. Plette-meier, A. Henning, "Antenna design for heartbeat detection for triggering purposes of medical devices," Germany, pp. 261-264, March 2013.



**Εικόνα 7: Διάταξη κάποιων κεραιών που φοριούνται στην άνω ζώνη UHF: α) PIFA σε ένα μαγνητο-διηλεκτρικό υπόστρωμα β) εύκαμπτο PIFA από υφαντικές ύλες γ) βραχίονας κλωστοϋφαντουργίας συνδυασμένος με εύκαμπτα φωτοβολταϊκά κύτταρα**

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο σχεδιασμός των κεραιών VHF / UHF που είναι αρκετά ελαφρύς, προσαρμόσιμος και ευέλικτος για να φορεθεί από ένα χρήστη είναι ένα δύσκολο ζήτημα, κυρίως στο χαμηλότερο εύρος συχνοτήτων. Αν και το σχετικά μεγάλο μέγεθος του ανθρώπινου σώματος και η υψηλή διηλεκτρική διαπερατότητα του ανθρώπινου ιστού μπορεί να βοηθήσει στην πραγματοποίηση ηλεκτρικά μεγάλων κεραιών, οι απώλειες του ανθρώπινου σώματος μειώνουν σημαντικά την απόδοση της κεραίας. Στη ζώνη VHF, οι τυπικές τιμές κέρδους για φορητές κεραίες που φοριούνται από ένα χρήστη είναι μικρότερες από -10dBi και οι περισσότερες από τις κεραίες είναι απλά δίπολα ή βρόχοι. Πράγματι, οι αποτελεσματικοί ανακλαστήρες και τα επίπεδα εδάφους (που είναι επιφάνειες θωράκισης που είναι μεγάλες σε σχέση με το μήκος κύματος ελεύθερου χώρου) δεν ισχύουν για κεραίες που μπορεί να μην εμποδίζουν τις κινήσεις του σώματος. Κατά τη μετάβαση στην κατώτερη ζώνη UHF, μπορούν να ληφθούν τιμές κέρδους κεραίας μεγαλύτερες από -5dBi, με κεραίες των οποίων το μέγεθος είναι της τάξης των δεκάδων εκατοστών. Μία αποτελεσματική τεχνική για την αύξηση της απόδοσης της κεραίας συνίσταται στην τοποθέτηση ενός αποστάτη μεταξύ της κεραίας και της επιφάνειας του σώματος. Ωστόσο, μεγάλη απόσταση μεταξύ της κεραίας και του σώματος είναι σε εμφανή αντίθεση με την απαίτηση χαμηλού οπτικού προφίλ. Εντούτοις, μπορεί να είναι αποδεκτή λύση όταν η κεραία είναι ενσωματωμένη σε συγκεκριμένα ενδύματα, όπως σωσίβια, γιλέκα θωράκισης, προστατευτικά ενδύματα κλπ., αξιοποιώντας το πάχος και τα ηλεκτρομαγνητικά χαρακτηριστικά των υλικών.

Όταν απαιτούνται υψηλές επιδόσεις όσον αφορά το κέρδος της κεραίας και τα πρότυπα ακτινοβολίας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν συστήματα πολλαπλών κεραιών, προκειμένου να εφαρμοστούν δυνατότητες μεταβαλλόμενης δέσμης, σχήματα ποικιλομορφίας ή τεχνικές MIMO. Ωστόσο, τα πλεονεκτήματα ενός συστήματος πολλαπλών κεραιών πρέπει να αντισταθμίζουν την πολυπλοκότητα του ενσύρματου δικτύου που απαιτείται για τη σύνδεση όλων των κεραιών και των συσκευών συνδυασμού / μεταγωγής.

Η χρησιμοποίηση αγώγιμων ινών και υφασμάτων για την ενσωμάτωση κεραιών σε ένδυμα και ενδύματα είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για φορητές κεραίες στις ζώνες VHF / UHF, καθώς οι κλωστοϋφαντουργικές κεραίες βοηθούν στην υλοποίηση κεραιών που μπορούν να είναι φυσικά μεγάλες, αλλά ευέλικτες και άνετες για τον χρήστη. Παρόλα αυτά, θα πρέπει να διατεθούν νέες αγώγιμες ίνες / κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα και κατάλληλες τεχνικές

κατασκευής, ώστε να επιτραπεί η εφαρμογή ανθεκτικών υλικών κλωστοϋφαντουργίας με πιο σύνθετες τοπολογίες, τα οποία να μπορούν να βοηθήσουν τους σχεδιαστές να επιτύχουν υψηλότερες επιδόσεις. Αναμένεται ότι, στο εγγύς μέλλον, οι κεραίες κλωστοϋφαντουργίας θα αντιπροσωπεύουν τις περισσότερες από τις φορητές κεραίες VHF / UHF. Στο πλαίσιο αυτό, οι τεχνικές για τον ηλεκτρομαγνητικό χαρακτηρισμό των υφαντικών υλών και των ινών παρουσιάζουν πρωταρχικό ενδιαφέρον. Επιπλέον, θα πρέπει να βελτιωθεί περαιτέρω η μακροπρόθεσμη αξιοπιστία των έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, λαμβάνοντας υπόψη τις διαδικασίες συντήρησης όπως το πλύσιμο και το στεγνό καθάρισμα.

Οι γνωστές τεχνολογίες όπως τα αυτόματα συντονισμένα κυκλώματα και η αναδιάρθρωση της κεραίας (που ήδη εφαρμόζονται ευρέως σε φορητές συσκευές, όπως τα κινητά τηλέφωνα και οι ψηφιακοί ραδιοφωνικοί / τηλεοπτικοί δέκτες) θα μπορούσαν να εφαρμοστούν σε φορητές κεραίες.

Τέλος, οι συμβατικές τεχνικές για τον χαρακτηρισμό των κεραιών θα πρέπει να τροποποιηθούν ώστε να λαμβάνουν υπόψη την εξάρτηση των παραμέτρων απόδοσης των κεραιών σε μια σειρά τυχαίων φαινομένων: η στάση του σώματος του χρήστη, οι φυσικές κινήσεις του χρήστη, η απόσταση μεταξύ της κεραίας και της επιφάνειας του σώματος, οι περιβαλλοντικές συνθήκες και οι μηχανικές παραμορφώσεις (κυρίως για κεραίες κλωστοϋφαντουργίας). Επί του παρόντος, οι επιπτώσεις αυτές λαμβάνονται συνήθως υπόψη ανεξάρτητα από τις απαιτήσεις σχεδιασμού, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε μη οικονομικές λύσεις. Περαιτέρω μελέτες θα πρέπει να γίνουν για την ανάπτυξη ενός στοχαστικού μοντέλου πάνω στο σχεδιασμό και το χαρακτηρισμό των φορητών κεραιών, που θα επέτρεπαν στον σχεδιαστή του συστήματος να εκτιμήσει εύκολα, αλλά με ακρίβεια την απόδοση ενός ασύρματου συστήματος για ένα συγκεκριμένο χρήστη. Αυτό το νέο μοντέλο πρέπει να είναι σε θέση να ασχοληθεί με τη μεταβλητότητα τόσο στην απόδοση της κεραίας όσο και στο περιβάλλον διάδοσης.



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Takuma Nakao, Nguyen Tuan Hung, Mio Nagatoshi and Hisashi Morishita, "Fundamental Study on Curved Folded Dipole Antenna," 2012

R.D. Seager, A. Chauraya, J.C. Vardaxoglou, P. de Maagt, "Towards a compact low frequency woven antenna," 2009.

A. Serra, P. Nepa, and G. Manara, "A wearable two-antenna system on a life jacket for Cospas-Sarsat Personal Locator Beacons, 2012.

K. Ogawa, T. Uwano, M. Takahashi, "A shoulder-mounted planar antenna for mobile radio applications, 2000.

M. Svanda, M. Polivka, and P. Hudec, "Novel low-profile foam dielectric over-the-shoulder antenna based on coupled patches technique," 2013.

K. Ogawa, T. Uwano, M. Takahashi, "A very small shoulder pad planar antenna for mobile radio applications," 1997

D. Psychoudakis, C.-C. Chen and J.L. Volakis, "Optimizing wearable UHF antennas for on-body operation," 2007

Kota Furuya, Yusuke Taira, Hisao Iwasaki, Shio Yamamoto, Naoya Tamaki, Takashi Harada, Akio Kuramoto, "Wide band wearable antenna for DTV reception," 2008

A. Sabban, "New wideband printed antennas for medical applications," 2013

H.J. Visser, A.C.F. Reniers, "Textile antennas, a practical approach," 2007

J. Lilja and P. Salonen, "Textile material characterization for softwear antennas," USA, 2009