



ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΕΚΤΩΝ ΧΑΜΗΛΩΝ (LF – LOW FREQUENCIES) ΚΑΙ
ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ (VLF – VERY LOW
FREQUENCIES)**

Ευτυχία Κάτση

Επιβλέπων Καθηγητής: Νικόλαος Γιαννακέας

Επίκουρος Καθηγητής

Άρτα, Ιανουάριος, 2020

**EXTENSIVE SURVEY AND ANALYSIS CONCERNING
TECHNOLOGY OF VERY LOW AND LOW FREQUENCY
RECEIVERS**

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή

Τόπος, Ημερομηνία

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπων καθηγητής

Νικόλαος Γιαννακέας,

Επίκουρος Καθηγητής

2. Μέλος επιτροπής

Τζάλλας Αλέξανδρος,

Επίκουρος Καθηγητής

3. Μέλος επιτροπής

Δημήτριος Δημόπουλος,

Πανεπιστημιακός Υπότροφος

Ο Προϊστάμενος του Τμήματος

Ευριπίδης Γλαβάς,

Καθηγητής, Α' Βαθμίδας

Υπογραφή

© Κάτση, Ευτυχία, 2020.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Δήλωση μη λογοκλοπής

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα πτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Κάτση Ευτυχία

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ τον πρώτο επιβλέπων καθηγητή κ. Σπυρίδων Χρονόπουλο, γιατί μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον θέμα, για την αμέριστη και ουσιαστική επιστημονική βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχε. Τον ευχαριστώ θερμά για τις εξαιρετικά ωφέλιμες κριτικές παρατηρήσεις του στην επεξεργασία του θέματος αυτού. Επίσης τον κ. Γιαννακέα, ο οποίος ανέλαβε την επίβλεψη της ολοκλήρωσης της εργασίας

Ακόμη ευχαριστώ όλους τους καθηγητές και τις καθηγήτριες που με δίδαξαν στα μαθήματα της Σχολής, αφού μου έδωσαν τα κατάλληλα κίνητρα και τις απαραίτητες γνώσεις για να φθάσω σε αυτό το στάδιο παρουσίασης της πτυχιακής μου εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία γίνεται αναφορά στην μελέτη και την ανάλυση των δεκτών πολύ χαμηλών (VLF) και χαμηλών (LF) συχνοτήτων. Αρχικά, επισημαίνεται η ιστορική ανασκόπηση των δύο αυτών συχνοτήτων, η θεωρητική ανάλυση των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων που συνδέονται στενά με τις VLF και LF καθώς και η σύγκριση των δύο συχνοτήτων. Έπειτα, αναλύεται εκτενώς η μέθοδος VLF-HM, και η ραδιοσυχνότητα μαζί με τα επακόλουθα παραδείγματα και τα αποτελέσματα που προέκυψαν. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται ποικίλες έρευνες που συνδέουν τις συχνότητες με τα βιολογικά χαρακτηριστικά του ανθρώπου. Επιπλέον, ακολουθεί η διερεύνηση της μεθόδου LF-HM και δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην εφαρμογή της στην επικοινωνία μεταξύ μεγάλων αποστάσεων. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το πείραμα που καταγράφηκε αλλά και τα αποτελέσματα που σημειώθηκαν. Τέλος, γίνεται μια σύνοψη των συμπερασμάτων των δύο συχνοτήτων.

Λέξεις-κλειδιά: VLF, LF, ηλεκτρομαγνητική μέθοδος, ραδιοσυχνότητα, επικοινωνία.

ABSTRACT

The present paper concerns the study and the analysis of very low frequency (vlf) and low frequency receivers. Initially, it is pointed out the historical retrospection of very low frequency and low frequency, the theoretical analysis and a comparison among the two frequencies. Moreover, there is a wide analysis of VLF-HM method, radiosignals along with the examples, applications and the upcoming results. Furthermore, some surveys that connect frequencies with biological human traits are presented. Afterwards, reference is made to the investigation of LF-HM with an emphasis to communications concerning long distances. Last but not least, there is a synopsis of the conclusions among very low frequency and low frequency receivers.

Keywords: VLF, LF, electromagnetic method, radio signal, communications.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

- Εικόνα 2.1 : Παράδειγμα της VLF-HM Denton Township, Ontario, σελίδα 13
- Εικόνα 2.2 : Παράδειγμα της VLF-HM Timmins, Ontario, σελίδα 13
- Εικόνα 2.3 : Παράδειγμα της VLF-HM Missouri Lead District, σελίδα 14
- Εικόνα 2.4 : Παράδειγμα της VLF-HM Gooderham, Ontario, σελίδα 15
- Εικόνα 2.5 : Παράδειγμα της VLF-HM Coppermine River, North West Territories, σελίδα 15
- Εικόνα 2.6 : Παράδειγμα της VLF-HM από Windsor, Nova Scotia, σελίδα 16
- Εικόνα 2.7: Παράδειγμα της VLF – HM από Tudhope and Bryce Townships, Ontario, σελίδα 16
- Εικόνα 2.8: Παράδειγμα της VLF-HM από Coppermine River, North West Territories, σελίδα 17
- Εικόνα 3.1 : Δυναμική χρόνου φυσικής δραστηριότητας σφαιριδίων για μία ημέρα, σελίδα 21
- Εικόνα 3.2 : Προσομοιωμένη ώθηση, σελίδα 26
- Εικόνα 3.3 : Μέσα και τυποποιημένα σφάλματα για μετασχηματισμένη ισχύ άλφα (11-13 Hz) στα τέσσερα 10 λεπτά μπλοκ του πειράματος που συγκρίνουν τους υψηλούς και τους χαμηλότερους δείκτες στο ερωτηματολόγιο ευαισθησίας καιρού (άνω και κάτω τρίτο) στο ηλεκτρόδιο O2, σελίδα 30
- Εικόνα 4.1: Ομοαξονικό πηνίο, σελίδα 36
- Εικόνα 4.2: Η δύναμη που επιλύεται κατά μήκος του r , σελίδα 42
- Εικόνα 4.3: Διάγραμμα επαγόμενης απόκρισης emf (pk-pk, mV) έναντι συχνότητας για ακτίνες δέκτη 3,75 cm, σελίδα 43
- Εικόνα 4.4: Διάγραμμα επαγόμενης απόκρισης emf (pk-pk, mV) έναντι συχνότητας στην περιοχή 1-8 kHz σε σύγκριση με τα υπολογισμένα δεδομένα για ακτίνες δέκτη 3,75 και 15 cm, σελίδα 43
- Εικόνα 4.5: Διάγραμμα υπολογισμένης επαγόμενης απόκρισης emf (pk-pk, mV) κατά την ακτίνα του δέκτη για μια σειρά συχνοτήτων συμπληρωμένη με μετρήσεις για ακτίνες δέκτη 3,75, 7 και 15 cm για $f \leq 5$ kHz, σελίδα 44

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Δήλωση μη λογοκλοπής	5
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	6
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
ABSTRACT	8
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣΕΙΚΟΝΩΝ	9
1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ VLF ΚΑΙ LF	1
1.1 Εισαγωγή των VLF και LF	1
1.2 Ιστορική Αναδρομή.....	2
1.3 Ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι της VLF και της LF.....	4
2. ΔΕΚΤΕΣ ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ (VLF)	6
2.1 Θεωρητικό υπόβαθρο	6
2.1.1 Μέθοδος VLF αναφορικά με την HM.....	6
2.1.2 Η ελλειψοειδής πόλωση	7
2.1.3 Το φαινόμενο του αζιμούθιου.....	8
2.1.4 Η μέθοδος λειτουργίας (operation method)	8
2.1.5 Θεμελιώδεις αρχές της E. M.....	9
2.2 Εφαρμογές	10
2.2.1 Μεθοδολογία.....	11
2.2.2 Παραδείγματα VLF - E. M.....	12
2.3 Αποτελέσματα.....	18
3. ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΣΤΟΥΣ ΖΩΝΤΕΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ	20
3.1 Γενικά	20

3.2 Βιολογικές επιδράσεις.....	20
3.3 Σχετικές έρευνες.....	21
3.4 Έρευνες προσομοίωσης.....	24
3.5 Υποκειμενικές διαφορές στις ανταποκρίσεις	28
3.6 Επεξηγηματικές προσεγγίσεις	30
4. ΔΕΚΤΕΣ ΧΑΜΗΛΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ (LF)	36
4.1 Θεωρητικό υπόβαθρο	36
4.2 Εφαρμογές-Παραδείγματα	38
4.3 Αποτελέσματα-Πειράματα	41
4.3.1 Το πείραμα	41
4.3.2 Τα αποτελέσματα.....	45
4.4 Προκλήσεις και πλεονεκτήματα της LFστην επικοινωνία.....	46
4.4.1 Τα τεχνολογικά επιτεύγματα για την εξομάλυνση των προκλήσεων	47
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	52
5.1 Σύνοψη της VLF	52
5.2 Σύνοψη της LF.....	53
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	54

1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ VLF ΚΑΙ LF

1.1 Εισαγωγή των VLF και LF

Η πολύ χαμηλή συχνότητα (VeryLowFrequency ή VLF) είναι η ονομασία της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union ή ITU) για ραδιοσυχνότητες (RF) για εύρος συχνοτήτων από 3 έως 30 kilohertz (kHz), οι οποίες αντιστοιχούν σε μήκη κύματος από 10 έως 100 Km, αντίστοιχα. Η συχνότητα αυτή είναι γνωστή και ως συχνότητα ή κύμα μυριάμετρου (1 μυριάμετρο αντιστοιχεί σε 10 km) καθώς τα μήκη κύματος εκτείνονται από 1 έως 10 μυριάμετρα. Η ζώνη VLF χρησιμοποιείται για υπηρεσίες ραδιοπλοήγησης, κυβερνητικούς ραδιοφωνικούς σταθμούς (σήματα χρόνου εκπομπής για τη ρύθμιση ραδιοφωνικών ρολογιών) και για την εξασφάλιση ασφαλούς στρατιωτικής επικοινωνίας. Δεδομένου ότι τα κύματα VLF μπορούν να διεισδύσουν τουλάχιστον 40 μέτρα (120 ft) σε αλμυρό νερό, χρησιμοποιούνται για στρατιωτική επικοινωνία με υποβρύχια. (ITU, 2013)

Χαμηλή συχνότητα (Low Frequency ή LF) είναι η ονομασία της ITU για ραδιοσυχνότητες (RF) εύρους από 30 έως 300 kHz. Τα μήκη κύματός του κυμαίνονται από 1 έως 10 Km αντίστοιχα, είναι επίσης γνωστή ως χιλιομετρική ζώνη ή χιλιόμετρο. Τα ραδιοκύματα LF εμφανίζουν χαμηλή εξασθένηση σήματος, καθιστώντας τα κατάλληλα για επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων. Στην Ευρώπη και περιοχές της Βόρειας Αφρικής και της Ασίας, μέρος του φάσματος LF χρησιμοποιείται για τη μετάδοση AM ως ζώνη "longwave". Στο δυτικό ημισφαίριο, η κύρια χρήση του είναι για το φάρο του αεροσκάφους, την πλοήγηση (LORAN), τις πληροφορίες και τα καιρικά συστήματα. Ορισμένες εκπομπές σήματος χρόνου μεταδίδονται επίσης σε αυτή τη ζώνη. (Seybold, 2005)

1.2 Ιστορική Αναδρομή

Η (ITU) είναι ο αρμόδιος οργανισμός για τις τηλεπικοινωνίες και την διακίνηση της πληροφορίας. Επιπλέον ασχολείται με το διαμερισμό του φάσματος των ραδιοκυμάτων σε όλες τις χώρες, προωθεί τη συνεργασία μεταξύ των χωρών για την εγκατάσταση δορυφόρων στο διάστημα, εργάζεται για τη βελτίωση των υποδομών για τις τηλεπικοινωνίες στις αναπτυσσόμενες χώρες και δημιουργεί παγκόσμια πρότυπα. Παράρτημα της ITU αποτελεί η ραδιοεπικοινωνία (ITU-R) η οποία είναι υπεύθυνη για την διαχείριση του διεθνούς φάσματος ραδιοσυχνοτήτων και τους πόρους δορυφορικής τροχιάς. (Baugh, 2002)

Στα τέλη της δεκαετίας του 1940 και στις αρχές της δεκαετίας του 1950 μια ομάδα υπό την καθοδήγηση του καθηγητή του Stanford, Bob Helliwell άρχισε να χρησιμοποιεί διεσπαρμένα σήματα εύρους 1 έως 120 KHz από κεραυνούς για την τηλεπισκόπηση του τότε άγνωστου περιβλήματος φορτισμένων σωματιδίων που περιβάλλουν τη Γη. Μέσα από διάφορες συγκυρίες ο Helliwell κατέληξε στο συμπέρασμα ότι για να μελετηθούν τα τμήματα χαμηλότερης πυκνότητας και χαμηλότερου υψομέτρου των ιοσφαιρικών περιοχών D και E απαιτήθηκαν συχνότητες ανίχνευσης κάτω από 1 MHz, ενώ το 1 MHz είναι το όριο χαμηλής συχνότητας του ηχητικού κυκλώματος C-3. (Garpenter, 2014)

Ο George Carpenter εντάχθηκε στην ομάδα VLF το 1960 και επεξεργάστηκε το μαγνητοφωνικό whistler-mode με τις μεταδόσεις του VLF του ναυτικού των ΗΠΑ. Στην συνέχεια, κατά τα έτη 1963 και 1965, οι ευρυζωνικές ηχογραφήσεις ήταν πλούσιες σε λεπτομέρειες σχετικά με την ενεργοποίηση των εκπομπών από τα σήματα κώδικα Morse της NAA. Αρχικά λειτούργησαν σε 14,7 kHz και αργότερα σε συχνότητες αρκετά kHz υψηλότερες. Έπειτα, το 1974 στα πλαίσια της έγχυσης κυμάτων VLF από την Ανταρκτική οι Helliwell και Κατσουφράκης πραγματοποιήθηκαν την κατασκευή μίας οριζόντιας κεραίας 33.5 Km στο σταθμό Byrd. Μετά από ποικίλες πειραματικές διαδικασίες ο εσωτερικός ασύρματος σταθμός απέστειλε μηνύματα μεταξύ της Αγγλίας και της Γαλλίας το 1899. (Garpenter, 2014)

Παράλληλα όσο αφορά την εκπομπή χαμηλών συχνοτήτων (LF). Το 1901 ο εξοπλισμός Marconi έστειλε τα πρώτα σήματα του trans-Atlantic από το Poldhu στην Κορνουάλη της Αγγλίας σε μια κεραία που στηριζόταν ψηλά με χαρταετούς και μπαλόνια στο

Newfoundland του Καναδά. Η συχνότητα των πρώτων ραδιοφωνικών μεταστροφών σε ολόκληρο τον Ατλαντικό ήταν άγνωστη, διότι το κυματομέτρο-όργανο μέτρησης της συχνότητας-δεν εφευρέθηκε μέχρι το 1904. Η πρώτη χαρακτηριστική περίπτωση ραδιοφωνικών παρεμβολών στην Αμερική είναι η απόπειρα εκπομπής των διεθνών ιστιοπλοϊκών αγώνων. Η εκπομπή χαμηλών συχνοτήτων έχει ευρεία χρήση και είναι ύψιστης σημασίας για την επικοινωνία. Για πολλά χρόνια, οι ασύρματες επικοινωνίες σήμαιναν χαμηλή συχνότητα. Η πρώτη εμπορική ατλαντική υπηρεσία ήταν στα 82 KHz, στη ζώνη χαμηλών συχνοτήτων. Μεταξύ 1910 και 1912, ορισμένες εμπορικές λειτουργίες χρησιμοποίησαν συχνότητες 12-13 KHz για επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων.

Μεταξύ του Α και Β 'Παγκοσμίου Πολέμου, οι μεταδόσεις VLF και LF έπεσαν σε εμπορική αχρησία καθώς οι βελτιώσεις στις τεχνικές υψηλής συχνότητας καθιστούσαν τις επικοινωνίες HF εμπορικά εφικτές. Μεταγενέστερα, οι αερομεταφερόμενες εκπομπές VLF και LF άρχισαν στις αρχές της δεκαετίας του 1960. Παρόλο που κατασκευάζονται νέες τοποθεσίες μεταδόσεων των VLF / LF, πολλές από τις αρχικές τοποθεσίες εξακολουθούν να λειτουργούν λόγω των μεγάλων επενδύσεων που έγιναν σε αυτές. (Daugherty, 1992)

1.3 Ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι της VLF και της LF

Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο εκπέμπεται από κάποιο πολύ ισχυρό σταθμό ανά την υφήλιο και χρησιμεύει κυρίως στις ραδιοεπικοινωνίες. Η ιδέα της χρήσης ραδιοσημάτων πολύ χαμηλών συχνοτήτων (VLF) για ηλεκτρομαγνητική αναζήτηση δεν είναι καινούργια. Οι μετρήσεις της εξασθένησης και της πόλωσης έγιναν από τον Hack το 1908 και τον Feldman το 1933 σε διάφορες γεωλογικές εφαρμογές. Η ανώμαλη ραδιοσυχνότητα έχει συχνά παρατηρηθεί κοντά σε μεγάλα αγωγίμα σώματα. Οι μέθοδοι ραδιοσυχνοτήτων για την ερμηνεία των ηλεκτρομαγνητικών (HM) δεδομένων κάνουν χρήση τομογραφίας ακτινών σε χαμηλές συχνότητες που χρησιμοποιούν μεταλλικούς μετασχηματιστές. Η συγκεκριμένη μέθοδος εφαρμόστηκε τη δεκαετία του 1930 και, σε μικρότερο βαθμό, μέχρι το 1960, τόσο για την αναζήτηση όσο και για τη γεωλογική χαρτογράφηση. (Paterson, 1970)

Στην Ευρώπη, η χρήση μεθόδων ραδιοσυχνότητας συνεχίστηκε υπόγεια, για τη χαρτογράφηση των ραφών άνθρακα και για την εξερεύνηση στην περιοχή των ορυκτών στοιχειωδών μετάλλων. Οι Ρώσοι έχουν επιτύχει στην εφαρμογή τεχνικών ραδιοφωνικής σκιάς σε τρύπες για την τακτική διερεύνηση και χαρτογράφηση σουλφιδικών σωμάτων σε σημαντικά βάθη σε συχνότητες μέχρι 1.000 KHz. Κάτω από το στρώμα υπερπλήρωσης, η εξασθένηση στα περισσότερα πετρώματα, ακόμη και σε αυτές τις συχνότητες, είναι αρκετά χαμηλή (Popov and Frish, 1967). Παρά το πλήθος δραστηριοτήτων, οι μέθοδοι ραδιοσυχνοτήτων δεν έγιναν δεκτές για επιφανειακή ή αεροπορική εξερεύνηση ρουτίνας μέχρι την εισαγωγή ενός "παθητικού" οργάνου το 1964, που λειτουργούσε στη σειρά VLF (15-25 KHz). Μέχρι το τέλος του 1966 η μέθοδος αυτή είχε ευρεία απήχηση και το 1967 πολλά παρόμοια συστήματα εισήχθησαν ή ήταν υπό κατασκευή. (Paterson, 1970)

Παρουσιάζεται, εν συνεχεία, μια νέα μέθοδος για την ερμηνεία των HM δεδομένων χρησιμοποιώντας τομογραφία ακτινών σε χαμηλές συχνότητες. Η άμεση εφαρμογή τομογραφίας ακτινών σε δεδομένα HM χαμηλής συχνότητας είναι δύσκολη λόγω της διάχυτης φύσης του πεδίου. Ωστόσο, τα διάχυτα πεδία HM μπορούν να μετατραπούν μαθηματικά σε κυματοειδή πεδία που ορίζονται σε μια χρονική μεταβλητή. Ο μετασχηματισμός σχετίζεται μοναδικά με ένα πεδίο που ικανοποιεί μια εξίσωση διάχυσης στο χρόνο ή σε συχνότητα, σε ένα ολοκλήρωμα του αντίστοιχου κυματοθραύσματος. Αν τα αντίστοιχα κυματοειδή πεδία μπορούν να υπολογιστούν από δεδομένα HM χαμηλής συχνότητας, θα πρέπει να είναι δυνατή η ερμηνεία αυτών των δεδομένων

χρησιμοποιώντας τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί για τα κυματοειδή πεδία. Το τυπικό παράθυρο των δεδομένων περιοχής χρόνου που απαιτείται για το μετασχηματισμό είναι 1,5 δεκαετίες. Οι χρόνοι ταξιδιού από μια πηγή στους δέκτες υπολογίστηκαν από τα ανακατασκευασμένα κυματοθραυστικά. Τα δεδομένα χρονικού τομέα με Gaussian θόρυβο 3% έδωσαν μια ανάλυση χρόνου ταξιδιού καλύτερη από το 1%.(Lee, 1993)

2.ΔΕΚΤΕΣ ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ (VLF)

2.1 Θεωρητικό υπόβαθρο

Η τεχνική πολύ χαμηλής συχνότητας (VLF) βασίζεται σε μετρήσεις των παραμέτρων της έλλειψης πόλωσης που προκύπτει από το άθροισμα των μαγνητικών συστατικών του πρωτογενούς και δευτερογενούς ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Πρωτογενής πηγές των πεδίων της VLF παράγονται από ισχυρές κεραίες μετάδοσης, οι οποίες είναι ειδικά σχεδιασμένες για υπερωκεάνια επικοινωνία: αυτές οι κεραίες διαδίδονται στο βόρειο ημισφαίριο. Πολλές κεραίες δεν μεταδίδουν στην πραγματικότητα, γεγονός που αποτελεί μειονέκτημα για τη μέθοδο. Η συχνότητα ορισμένων πομπών έχει αλλάξει με την πάροδο του χρόνου. Για παράδειγμα, το 1970 οι μεταδόσεις γίνονταν με 17,8 KHz ενώ το 1996 με 24,8 KHz. Η συχνότητα VLF τροποποιήθηκε στα 15-25 KHz (1979), 10-30 KHz (1980) και 15-30 KHz (1994).

Ο πομπός του πρωτογενούς πεδίου ταξιδεύει σε όλο τον κόσμο και σε αποστάσεις μεγαλύτερες από 100 Km, το μαγνητικό συστατικό είναι σχεδόν οριζόντιο και κάθετο στην πηγή αζιμούθιου. Υπό την παρουσία ενός αγωγού το πρωτογενές μαγνητικό πεδίο διεισδύει στο έδαφος και παράγει ένα δεύτερο πεδίο το οποίο αλληλεπιδρά με το πρώτο. Το επακόλουθο πεδίο ελέγχεται από μία ηλεκτρική δομή του εδάφους. Αυτό το πεδίο είναι πολωμένο και τα χαρακτηριστικά του δευτερογενούς μαγνητικού πεδίου μπορεί να αντικατατροπριστούν από τις παραμέτρους ελλειψοειδούς πόλωσης. Πιο συγκεκριμένα, οι δυο παράμετροι της ελλειψοειδούς πόλωσης χρησιμοποιούνται συνήθως για την ανάλυση δευτερογενών πεδίων: του άξονα κλίσης και της εκκεντρότητας ή της ελλειπτικότητας e . Συμπερασματικά, αφού η ένταση του δευτερογενούς πεδίου είναι πάντα μικρότερη από αυτή του πρωτογενούς, ο τύπος είναι $D = \frac{Re}{H_p}$ και $e = \frac{Im}{H_p}$. (Zamora, 2014)

2.1.1 Μέθοδος VLF αναφορικά με την HM.

Οι μέθοδοι αναζήτησης HM. βασίζονται στη μέτρηση των δευτερογενών πεδίων που παράγονται από τη διέλευση σωμάτων στο έδαφος όταν υποβάλλονται σε ένα πρωτεύον σήμα HM. Οι "ενεργές" μέθοδοι χρησιμοποιούν μεταφερόμενους πομπούς, που γενικά

λειτουργούν στην περιοχή συχνοτήτων 400-5.000 Hz. Η Μαγνητική Συχνότητα Ηχητικής Συχνότητας (Audio Frequency Magnetic ή AFMAG) είναι μια "παθητική" μέθοδος, στηριζόμενη στις ηλεκτρικές εκρήξεις που παράγονται από καταιγίδες που παράγουν μετρήσιμα σήματα στην περιοχή 50-500 Hz. Όσον αφορά την VLF-HM, η μέθοδος είναι επίσης "παθητική", και ειδικότερα στην περίπτωση που χρησιμοποιεί την ακτινοβολία από ισχυρούς στρατιωτικούς ραδιοπομπούς ως κύρια σήματα. Η ακτινοβολία από αυτούς τους πομπούς περιέχει τόσο ηλεκτρικά όσο και μαγνητικά εξαρτήματα και ταξιδεύει σε τρεις φάσεις: ατμοσφαιρικά, διαστημικά και εδαφικά (skywave, spacewave και groundwave). Στις μεγάλες αποστάσεις λαμβάνεται υπόψη κυρίως το skywave, καθοδηγούμενο από την ιονόσφαιρα και την επιφάνεια της γης. Το μαγνητικό στοιχείο παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον, καθώς κάτω από την επιφάνεια του εδάφους μεταφέρει το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας του σήματος και προσφέρει ορισμένα πλεονεκτήματα στην πρακτική μέτρηση πεδίου. Κάτω από την επιφάνεια του εδάφους το μαγνητικό πεδίο εξασθενεί και κατά συνέπεια παραμορφώνεται τόσο στη φάση όσο και στην κατεύθυνση. Η συμπεριφορά του πεδίου κοντά στη διεπαφή εδάφους/αέρα έχει περιγραφεί από τον Norton (1937). Η επίδρασή της στις μετρήσεις VLF βρίσκεται υπό μελέτη. (Paterson, 1970)

Ωστόσο, η εξασθένηση είναι ένας περιοριστικός παράγοντας στη χρήση της μεθόδου VLF σε περιοχές αγωγίμων υπερκείμενων ή μέτρια αγωγίμων βράχων χωρών. Επιπλέον ένας σημαντικός παράγοντας που οφείλεται να ληφθεί υπόψη είναι ότι τα δευτερεύοντα πεδία από τους θαμμένους αγωγούς εξασθενούν περαιτέρω με τη διέλευσή τους προς τα επάνω κατά τη διαδικασία της μέτρησης. Η σύνδεση του πρωτεύοντος πεδίου με τους θαμμένους αγωγούς μετατοπίζεται αισθητά σε φάσεις, ακόμη και σε πετρώματα σχετικά χαμηλής αγωγιμότητας. Συμπερασματικά, η εξασθένηση είναι ένας παράγοντας που δεν μπορεί να ξεπεραστεί και πρέπει να ληφθεί υπόψη συνεχώς κατά την εφαρμογή της ηλεκτρομαγνητικής VLF μεθόδου. (Paterson, 1970)

2.1.2 Η ελλειψοειδής πόλωση

Οι μετρήσεις του δευτερεύοντος πεδίου πραγματοποιούνται κανονικά στη μέθοδο VLF συγκρίνοντας τα σήματα στην κάθετη και την οριζόντια κατεύθυνση. Δεδομένου ότι το πρωτεύον πεδίο είναι σχεδόν οριζόντιο, επιτυγχάνεται με αυτόν τον τρόπο ένα ακατέργαστο μέτρο δευτερεύουσας ισχύος πεδίου. Επιπλέον είναι δυνατό να προσδιοριστεί, κατά προσέγγιση, η φάση του δευτερογενούς πεδίου σε σχέση με το

πρωτογενές. Στο σημείο όπου το $\theta=0$ και τα δύο πρωτεύοντα και δευτερεύοντα πεδία είναι οριζόντια, τότε τόσο ο λόγος όσο και η κλίση είναι μηδέν. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το σημείο της εκκεντρικότητας αλλάζει καθώς η γωνία φάσης μεταβαίνει από θετική σε αρνητική. Η λύση αυτή φαίνεται από την εξέταση των προφίλ των e (εκκεντρικότητα) και του κενού, με την παρουσία ενός κυλινδρικού δευτερεύοντος πεδίου γύρω από μία οριζόντια πηγή ρεύματος που βρίσκεται σε βάθος d κάτω το έδαφος.(Paterson, 1970)

2.1.3 Το φαινόμενο του αζιμούθιου

Μέχρι στιγμής έχει γίνει αναφορά μόνο στα πρωτεύοντα και δευτερεύοντα πεδία στο ίδιο κατακόρυφο επίπεδο. Στην πράξη αυτό συμβαίνει σπάνια, οπότε πρέπει να εξεταστεί και το αποτέλεσμα της μεταβολής της οριζόντιας γωνίας του αζιμούθιου του δευτερεύοντος πεδίου σε σχέση με την αρχική. Σε αυτή την περίπτωση η μεταβολή παραμένει ίδια, όπως η κάθετη συνιστώσα, καθώς είναι η μόνη που επηρεάζει την εκκεντρότητα.

Το καθαρό αποτέλεσμα της μεταβολής του αζιμούθιου του δευτερεύοντος πεδίου είναι να τεντωθεί η ανωμαλία σε κάθε πλευρά της διασταύρωσης και να μειωθεί η δύναμη και των δύο τιμών κλίσης και εκκεντρότητας περίπου. Η μείωση των τιμών κλίσης θα είναι ελαφρώς μικρότερη στην περίπτωση των γωνιών αρνητικής φάσης από ότι για τις γωνίες θετικής φάσης.(Paterson, 1970)

2.1.4 Η μέθοδος λειτουργίας (operation method)

Με αφορμή τις προαναφερόμενες πληροφορίες προκύπτει ότι η έλλειψη πόλωσης VLF κοντά στον ηλεκτρικό αγωγό είναι σε κάποιο βαθμό χαρακτηριστική των ιδιοτήτων του αγωγού. Επίσης δύο συγκεκριμένες παράμετροι της έλλειψης - η κλίση και η εκκεντρότητα - αντικατοπτρίζουν τη σχετική ισχύ πεδίου και τη φάση των πρωτογενών και δευτερογενών πεδίων. Η εκκεντρικότητα μπορεί να εκφραστεί με τον εξής τύπο: $E = \frac{(\Delta H_y)}{H}$. Συνεπώς, οι μετρήσεις της κλίσης και της εκκεντρότητας είναι σχεδόν ανάλογες με τις πραγματικές και τετραγωνικές συνιστώσες του κάθετου δευτερεύοντος πεδίου και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αντιπροσωπεύσουν αυτές τις ποσότητες εντός αποδεκτών ορίων.(Paterson,1970)

2.1.5 Θεμελιώδεις αρχές της ΗΜ.

Ο Vaino Ronka χρησιμοποιώντας τις προαναφερόμενες μεθόδους και σχέσεις κατέληξε στο σχεδιασμό του πρώτου εργαλείου πολύ χαμηλών συχνοτήτων, το οποίο ονομάζεται the Geonics HM- 16. Το όργανο έχει δύο πηνία λήψης: το πηνίο σήματος με κανονικά κατακόρυφο άξονα και το πηνίο αναφοράς με έναν οριζόντιο άξονα. Κάθε πηνίο συντονίζεται στο ίδιο πρωτεύον σήμα μέσω κρυσταλλικών μονάδων, αλλά το καθένα έχει ένα ξεχωριστό ενισχυτή. Η κατεύθυνση του πρωτεύοντος πεδίου προσδιορίζεται αρχικά κρατώντας το πηνίο σήματος οριζόντια και προσανατολίζοντας το όργανο για ελάχιστη σύζευξη. Αυτό ανιχνεύεται από ένα ελάχιστο ηχητικό σήμα στο ηχείο μεγαφώνου που είναι τοποθετημένο στην κονσόλα. Έπειτα, το όργανο συγκρατείται κάθετα με το πηνίο αναφοράς του σε κατεύθυνση κάθετη προς τη θέση του πομπού, οπότε λαμβάνει το πλήρες αποτέλεσμα του πρωτεύοντος πεδίου. Στη συνέχεια, ο χειριστής περιστρέφει το όργανο στο κατακόρυφο επίπεδο μέχρι να καταγραφεί σήμα. Σε αυτό το σημείο το πηνίο σήματος είναι προσανατολισμένο κατά μήκος του δευτερεύοντος άξονα της ελλειψοειδούς πόλωσης και η γωνία κλίσης του οργάνου είναι η γωνία κλίσης της ελλείψεως. Επομένως, η εφαπτομένη της γωνίας κλίσης είναι προσαρμοσμένη στην αναλογία του πραγματικού στοιχείου του κατακόρυφου δευτερεύοντος πεδίου προς το οριζόντιο πρωτεύον πεδίο. Το ΗΜ. -16 καταγράφει τόσο τη γωνία κλίσης σε μοίρες όσο και την εφαπτομένη της γωνίας, εκφρασμένη σε εκατοστιαία ποσοστά. Κρατώντας το όργανο σταθερό στην ελάχιστη κατεύθυνση, ο χειριστής περιστρέφει το αριστερό χέρι, μέχρι να επιτευχθεί το ελάχιστο σήμα. Μέσω αυτής της ρύθμισης χρησιμοποιείται ένα ποσοστό της τάσης στο πηνίο αναφοράς (μετά την πρώτη μετατόπιση της φάσης 90°) για να ισορροπήσει την τάση στο πηνίο σήματος. Η βαθμονόμηση του κουμπιού καταγράφει το ποσοστό του σήματος αναφοράς που χρησιμοποιείται στην αντιστάθμιση, παρέχοντας έτσι μια άμεση μέτρηση της αναλογίας των δυνάμεων σήματος στα δύο πηνία δέκτη. Αυτή η ποσότητα είναι μια προσέγγιση με την αναλογία του τετραγωνικού στοιχείου του κάθετου δευτερεύοντος πεδίου προς το οριζόντιο πρωτεύον πεδίο. (Paterson, 1970)

2.2 Εφαρμογές

Τα όργανα HM-16 και άλλα όργανα HM. γείωσης VLF μοιράζονται τα ίδια πλεονεκτήματα σε λειτουργίες πεδίου:

1. Είναι ελαφριά (2-3 lb.) και εύκολα φορητά.
2. Δεν χρειάζονται πομπό, μειώνοντας περαιτέρω την πολυπλοκότητα, την ακτογραμμή και το προσωπικό λειτουργίας (το όργανο λειτουργεί κανονικά από έναν άνθρωπο).
3. Οι ενδείξεις είναι εξαιρετικά γρήγορες, καθώς τα σήματα είναι ισχυρά, μηδενικά καθαρά και ακλόνητα στο συνιστώμενο εύρος λειτουργίας των πομπών.
4. Η κατανάλωση ενέργειας είναι αμελητέα (ένα σύνολο μπαταριών "penlite" διαρκεί γενικά πολύ περισσότερο από ένα μήνα).
5. Η λειτουργία είναι τόσο απλή που το ανειδίκευτο προσωπικό μπορεί να εκπαιδευτεί ως χειριστής σε λίγες ώρες.

Από γεωλογικής απόψεως, οι ακόλουθες εκτιμήσεις καθόρισαν την περιοχή εφαρμογής του οργάνου:

1. Η μέθοδος είναι ικανή για μεγάλο βάθος εξερεύνησης σε μη αγωγίμους βράχους.
2. Σε αγωγίμο έδαφος το βάθος της εξερεύνησης είναι πολύ περιορισμένο.
3. Η σχετικά υψηλή συχνότητα παρέχει υψηλούς παράγοντες απόκρισης για σώματα πολύ μικρών διαστάσεων. Σχετικά "αποσυνδεδεμένα" θειούχα μεταλλεύματα έχουν βρεθεί ότι παράγουν μετρήσιμες ανωμαλίες VLF.
4. Οι ανωμαλίες τείνουν να δημιουργούνται από μεταβολές αγωγιμότητας στο υπερκείμενο φορτίο ή στη διεπαφή υπερκείμενου / υποστρώματος. Αυτά μπορεί να είναι δύσκολο να διακριθούν από τις ανωμαλίες που οφείλονται στους αγωγούς μέσα στο υπόστρωμα.
5. Για τον ίδιο λόγο, οι φτωχοί αγωγοί όπως οι επαφές διάτμησης, οι ζώνες διαφράγματος, τα στενά ελαττώματα, οι ζώνες μεταβολής και οι πορώδεις κορυφές ροής παράγουν κανονικά ανωμαλίες VLF. Η μέθοδος μπορεί, επομένως, να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για γεωλογική χαρτογράφηση.
6. Δεδομένου ότι η συχνότητα είναι υψηλή, ο συντελεστής απόκρισης πολλών γεωλογικών αγωγών (συμπεριλαμβανομένων των orebodies) είναι πάνω από το εύρος όπου παράγονται αισθητά τετραγωνικά αποτελέσματα. Οι μετατοπίσεις

φάσης συνδέονται συνηθέστερα με τις επιδράσεις του αγώγιμου εδάφους στο πρωτεύον και δευτερεύον σήμα. Οι μετρήσεις τετραγώνων δεν μπορούν συχνά να χρησιμοποιηθούν για την διάκριση μεταξύ των γεωλογικών αγωγών υψηλότερης και κατώτερης αγωγιμότητας.

7. Η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς δυσκολία σε ορεινό έδαφος εφόσον το έδαφος είναι αγώγιμο, το προφίλ θα παραμορφωθεί προς την κατεύθυνση της επιφάνειας του εδάφους. Αυτό μπορεί συχνά να αναγνωριστεί ή και να αφαιρεθεί ημι-ποσοτικά. Λόγω των περιορισμών (4) και (6), συνιστάται συνήθως η παρακολούθηση της έρευνας VLF με ένα ή περισσότερα προφίλ από τον οριζόντιο βρόχο HM ή άλλη μέθοδος διακριτικής μεταχείρισης, πριν πραγματοποιηθεί κάποια δαπανηρή διάτρηση.

Η μέθοδος VLF χρησιμοποιείται ευρέως στην ανίχνευση και οριοθέτηση αβαθών αγωγών καθώς και στην εξερεύνηση υπογείων υδάτων και στις μελέτες μηχανικής. Η μέθοδος συνδυάστηκε με σεισμικές και μαγνητικές μεθόδους για τον εντοπισμό και τη διερεύνηση καταγμάτων και κοιλοτήτων στο περιβάλλον, που αποτελεί πρόβλημα μηχανικής και υδρογεωλογίας, σε μελέτες δομής της γήινης επιφάνειας. για τα προϊόντα πετρελαίου στα υπόγεια ύδατα, σε αρχαιολογικές ζώνες ή στην παρακολούθηση και αξιολόγηση των επιπτώσεων από ηφαιστειακές περιοχές, στη γεωλογική χαρτογράφηση και ιδιαίτερα στην εντοπισμό στενών ζωνών. Ειδικότερα, η VLF έχει επιτύχει σε χώρους με προβλήματα ρύπανσης.

Η μέθοδος VLF είναι πολύ ευαίσθητη στην ποιότητα των υδάτων, καθώς και στην παρουσία υδρογονανθράκων. Η ρύπανση συχνά ευνοείται από την παρουσία μεγάλων καταγμάτων και ελαττωμάτων που δρουν ως αγωγούς για τη μετανάστευση μολυσματικών υγρών. Η μέθοδος VLF είναι επίσης ευαίσθητη στην παρουσία υγρών βλαβών και καταγμάτων. (Paterson, 1970)

2.2.1 Μεθοδολογία

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στην περίπτωση πολύ χαμηλών συχνοτήτων είναι ένας εξοπλισμός OMNI MAG Scintrex VLF με τρία κανάλια, για να έχει πρόσβαση σε τρεις σταθμούς μετάδοσης. Για τη διαχείρισή του πρέπει να είναι γνωστές τόσο οι θέσεις και η συχνότητα των σταθμών παραγωγής ενέργειας όσο και οι παράμετροι που παρέχονται από

το ίδιο το όργανο. Το OMNI MAG μετρά τα ενδιάμεσα (H_x) και τετραγωνικά (H_y) συστατικά που εξομαλύνονται με το κύριο πεδίο μαζί με συμπληρωματικές πληροφορίες καθώς και με την ένταση του πρωτογενούς πεδίου και της γωνίας κλίσης. Στις μεθόδους VLF μπορούν να χρησιμοποιηθούν και τα ηλεκτρικά και τα μαγνητικά στοιχεία. Ωστόσο, παροντικά χρησιμοποιούνται μόνο τα μαγνητικά πεδία (H) καθώς είναι πιο εύκολο να υπολογιστούν. Το κύριο πεδίο (H) τοποθετείται σχεδόν σε οριζόντιο επίπεδο.

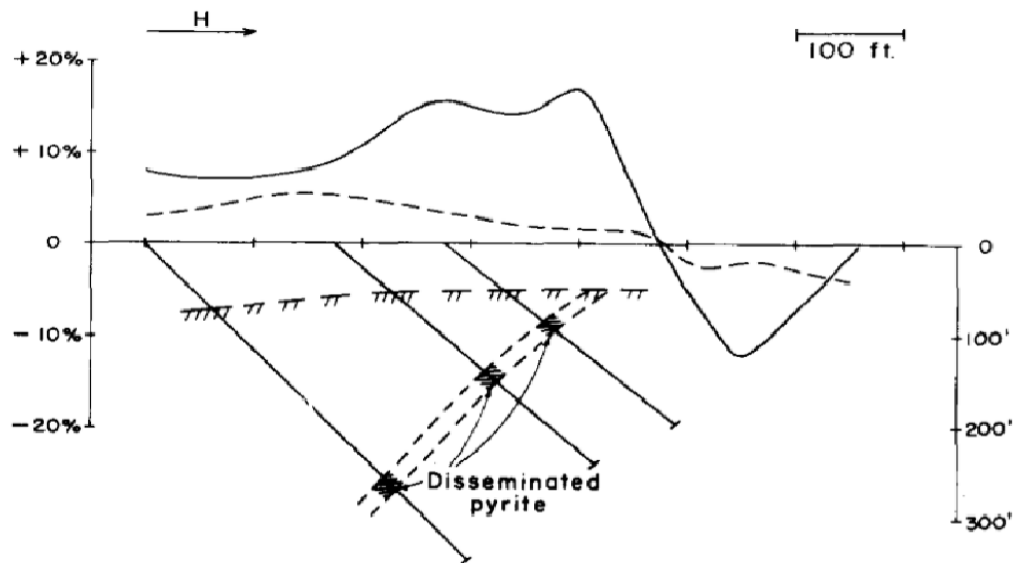
Παραδοσιακά, η ερμηνεία των δεδομένων γωνίας κλίσης VLF διεξήχθη ποιοτικά. Η ποσοτική ερμηνεία του VLF οφείλεται στις αρχές και τεχνικές που βασίζονται στη χρήση απλών γεωμετρικών σωμάτων από την εργαστηριακή μοντελοποίηση που επιτυγχάνει αποκρίσεις VLF παρόμοιες με αυτές. Μια ρεαλιστική προσομοίωση VLF της υποεπιφάνειας πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα μέσα με διαφορετικές αγωγιμότητες, ακανόνιστη γεωμετρία και ανισοτροπία σε μοντέλα ανωμαλιών VLF είναι εφαρμόσιμες σε πολύ απλές δομικές καταστάσεις και δεν περιλαμβάνουν την επίδραση από αγωγίμες ασπίδες (καλύμματα). Η υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα αυτών των ασπίδων αποτρέπει την εκπομπή κυμάτων HM σε βάθος αυτή η συμπεριφορά μειώνει το επιθυμητό πάχος και παράγει μια οριακή διείδυση κάτω από την επιφάνεια. Το πάχος και η ηλεκτρική αγωγιμότητα του ανώτερου στρώματος (ή ανώτατου καλύμματος) ελέγχουν την απόκριση VLF.

Μία από τις πρώτες μεθόδους αναστροφής διατυπώθηκε από τον Olsson που προσεγγίζει μία ολοκληρωμένη εξίσωση ως σύστημα εξισώσεων το οποίο λύνεται από αριθμητικές τεχνικές. Με αυτό τον τρόπο αποκτούνται καμπύλες απόκρισης για διαφορετικά μοντέλα με αγωγίμο κάλυμμα. Από τότε, έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι αναστροφής, συμπεριλαμβανομένης της αναστροφής 1-D, τακτοποιημένη αμφίδρομη αναστροφή, αναστροφή 3-D και κοινή αναστροφή δεδομένων VLF και VLF-R χρησιμοποιώντας προσομοιωμένη ανόπτηση. Σε VLF-R, λαμβάνονται πληροφορίες από μία μόνο συχνότητα, μετρώντας τα κάθετα εξαρτήματα των ηλεκτρικών και μαγνητικών οριζόντιων αξιών. (Zamora, 2014)

2.2.2 Παραδείγματα VLF-HM

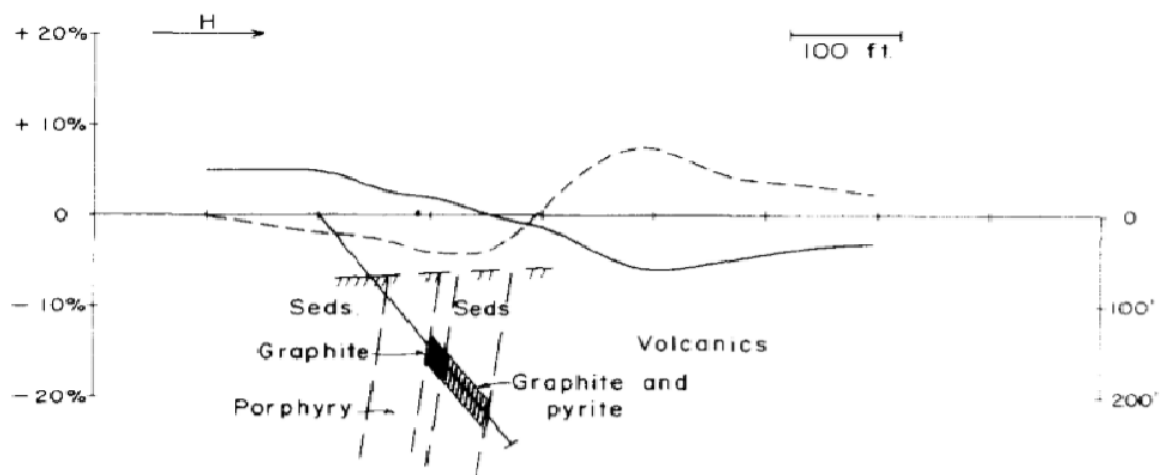
Το προφίλ σε φάση (πραγματικό στοιχείο) δείχνει την ασυμμετρία που χαρακτηρίζει μια σχετικά επίπεδη εμβύθιση. Οι κορυφές εντοπίζονται περίπου στα 75 πόδια από το σημείο

καμπής, το οποίο είναι ανάλογο με ένα βάθος αγωγού περίπου στα 50 πόδια. Το προφίλ τετραγώνου απεικονίζει μια αδύναμη, θετική κλίση, υποδηλώνοντας ότι το σώμα είναι πολύ κακός αγωγός και ότι το υπερκείμενο είναι σχετικά μη - αγωγίμο.



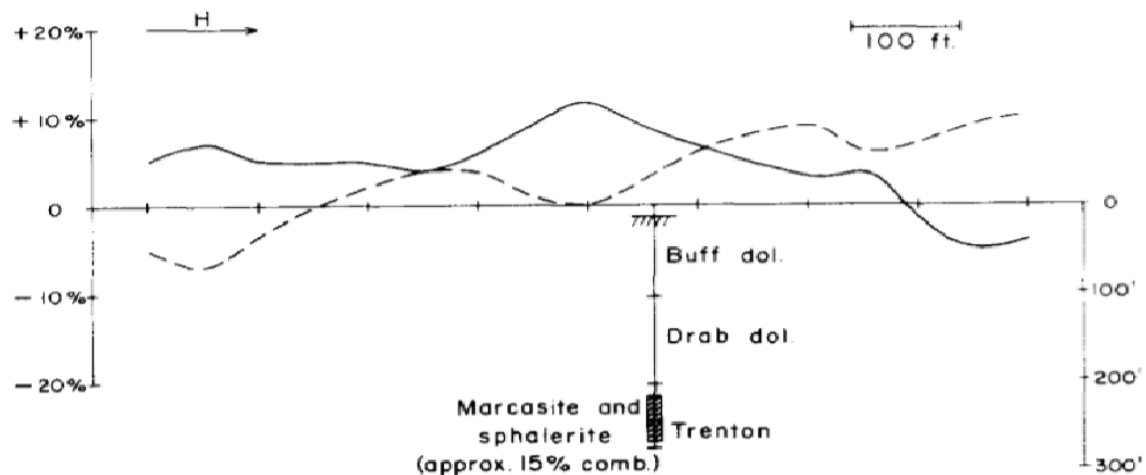
Εικόνα 2.1: Παράδειγμα της VLF-HM Denton Township, Ontario.
(Paterson, 1970)

Αυτά είναι αρκετά χαρακτηριστικά προφίλ, παρουσιάζοντας μια θετική διασταυρούμενη φάση και μια αρνητική τετραγωνική ανωμαλία (negative quadrature anomaly). Ο αγωγός εδώ είναι σχετικά μαζικός και ευρύς: το υπερκείμενο έχει πάχος 70-80 πόδια και μετρίως αγωγίμο. Το σχήμα της ενδιάμεσης ανωμαλίας είναι σύμφωνο με ένα ευρύ σώμα και επίσης προτείνει μια συνεισφορά από το ίδιο το υπερκείμενο. Η ανωμαλία τετραγώνων προκαλείται σχεδόν εξ ολοκλήρου από το αγωγίμο σώμα.



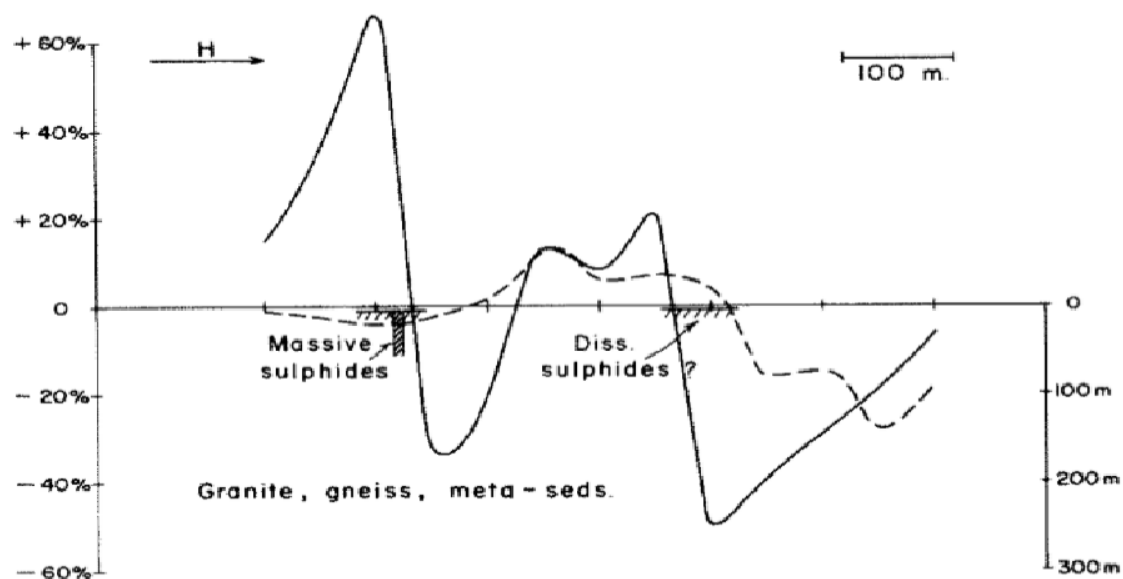
Εικόνα 2.2: Παράδειγμα της VLF - HM Timmins, Ontario.
(Paterson, 1970)

Τα προφίλ παρουσιάζουν μια σειρά ανωμαλιών, εκ των οποίων μόνο μία έχει διανοιχτεί. Το βάθος σε αυτή την περίπτωση είναι 250 πόδια, το οποίο είναι σύμφωνο με το βάθος που προέρχεται από ένα μοντέλο σφαίρας χρησιμοποιώντας τις γειτονικές κορυφές σε κάθε προφίλ. Το αγώγιμο σώμα είναι πιθανώς διακεκριμένο και επίπεδο. Η σχετικά ισχυρή τετραγωνική συνιστώσα υποδηλώνει μετρίως αγώγιμους βράχους χώρας, σε περιοχή με εύρος από ασβεστόλιθους και δολομίτες. Το ίδιο το σώμα είναι πιθανόν ένας κακός αγωγός, αν και σε συχνότητες VLF δημιουργεί σαφώς ένα αξιοσέβαστο δευτερεύον πεδίο.



Εικόνα 2.3: Παράδειγμα της VLF-HM Missouri Lead District.
(Paterson, 1970)

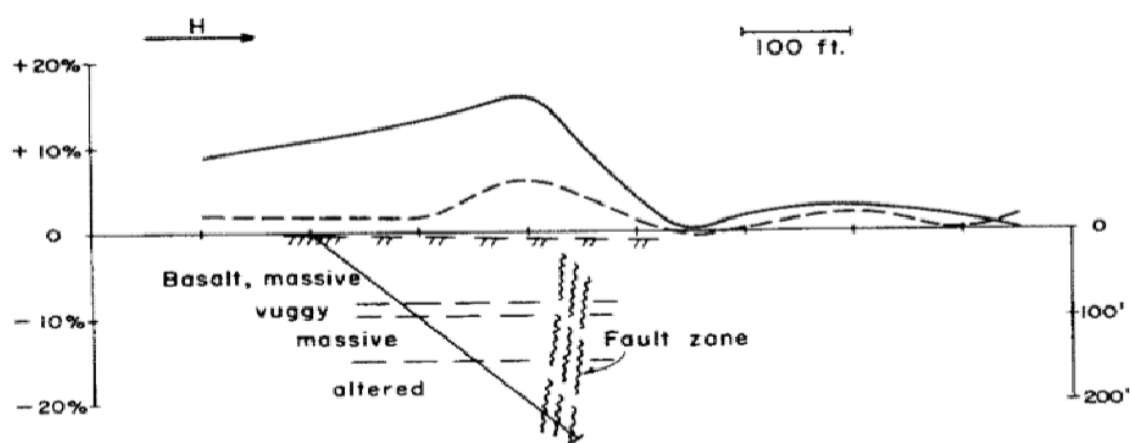
Η κλίμακα αυτού του σχήματος είναι περισσότερο συμπιεσμένη από τις άλλες, αλλά δύο ή τρεις αγωγοί είναι σαφώς υποδεικνύόμενοι. Η αριστερή ανωμαλία είναι χαρακτηριστική ενός καλού αγωγού που βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια και η διάτρηση επιβεβαιώνει αυτό. Η δεξιά ανωμαλία υποδηλώνει ένα πολύ αδύναμο αγωγό, επίσης κοντά στην επιφάνεια. Αυτό δεν έχει διεξαχθεί, αλλά οι έρευνες χαμηλής συχνότητας HM. και IP επιβεβαιώνουν ότι είναι πιθανώς ανεπαρκώς συνδεδεμένες. Ο κεντρικός αγωγός μοιάζει με φαινόμενο υπερκείμενου φορτίου.



Εικόνα 2.4: Παράδειγμα της VLF-HM Gooderham, Ontario.

(Paterson, 1970)

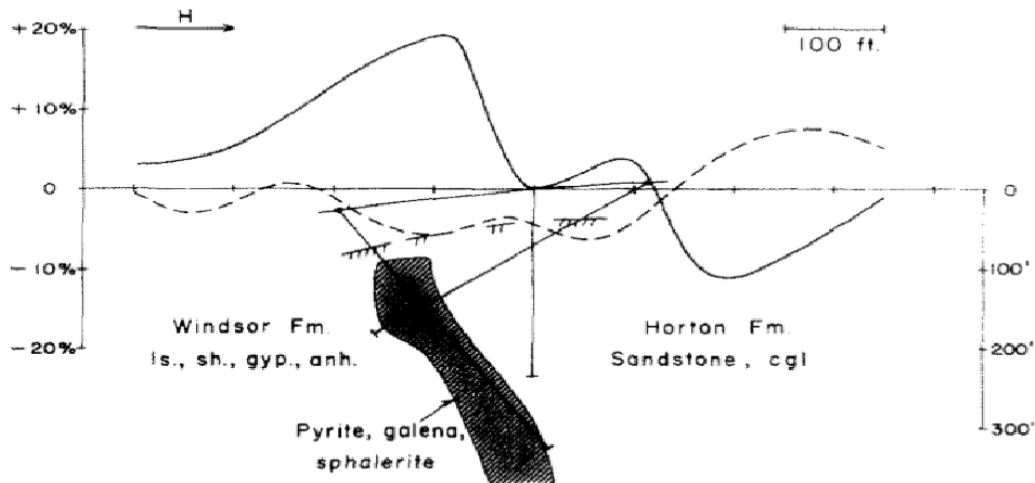
Πρόκειται για μια πολύ χαρακτηριστική ανωμαλία για την περιοχή, όπου διεξήχθησαν εκτενείς έρευνες σχετικά με τα VLF για τη χαρτογράφηση βλαβών και ζωνών έκφρασης. Η ασθενής θετική απόκριση τετραγώνων (positive quadrature response) υποδεικνύει ότι η ζώνη βλάβης είναι ρηχή και κακή αγωγός. Αυτό επιβεβαιώνεται από έρευνα IP και γεωτρήσεις. Όταν το σφάλμα μεταστρέφεται, το συστατικό τετραγωνικής γραμμής μειώνει τη δύναμη ή υποδηλώνει αλλαγές.



Εικόνα 2.5: Παράδειγμα της VLF-HM Coppermine River, North West Territories.

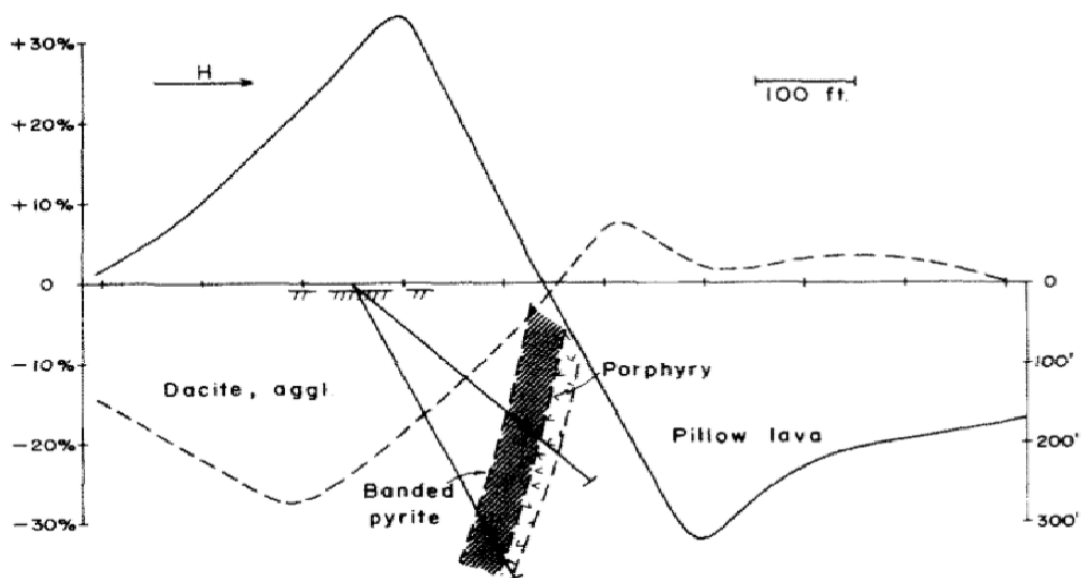
(Paterson, 1970)

Οι βράχοι της περιοχής είναι μέτρια αγώγιμοι και είναι εκπληκτικό ότι δεν επιτυγχάνεται περισσότερη απόκριση τετραγωνισμού. Ενδεχομένως η κύρια ανωμαλία προκαλείται από αγώγιμο υλικό που βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια. Θα ήταν ενδιαφέρον να δημιουργηθεί μια βαθιά τρύπα για τη δοκιμή ισχυρής τετραγωνικής ανωμαλίας στα δεξιά της γνωστής ζώνης μεταλλεύματος.



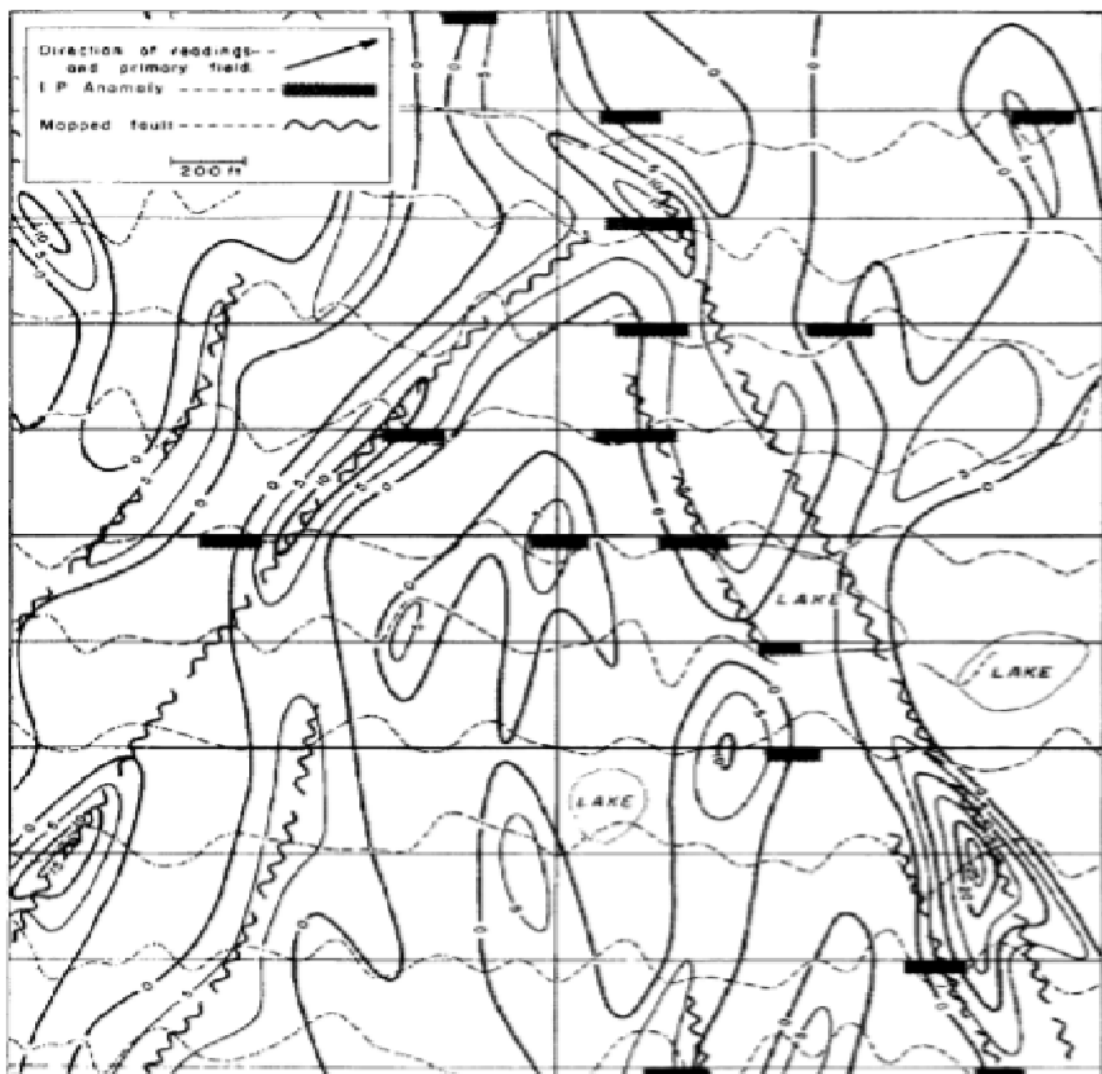
Εικόνα 2.6: Παράδειγμα της VLF-HM από Windsor, Nova Scotia.
(Paterson, 1970)

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα παρουσιάζεται η απόκριση τετραγωνισμού που μπορεί να παραχθεί από έναν καλό αγωγό ακόμη και σε μικρό βάθος σε σχετικά μη αγώγιμους βράχους. Το προφίλ τετραγώνου αντανakλά την εμβάπτιση του αγωγού.



Εικόνα 2.7: Παράδειγμα της VLF-HM από Tudhope and Bryce Townships, Ontario.
(Paterson, 1970)

Στη προκειμένη περίπτωση απεικονίζονται τα δεδομένα VLF σε φάση που έχουν υποστεί επεξεργασία και έχουν σχεδιαστεί σύμφωνα με το πρόγραμμα του Fraser (1966). Η ευκολία με την οποία μπορεί να συγκριθεί αυτός ο χάρτης με τη γεωλογία και άλλα γεωφυσικά αποτελέσματα είναι ένα από τα κύρια πλεονεκτήματά του. Ορισμένες τάσεις, ιδίως αυτές που επικρατούν δυτικά της κύριας ανωμαλίας βορρά-νότου, υπογραμμίζονται από αυτή την παρουσίαση των δεδομένων. Το προφίλ τετραγώνου, που φαίνεται πάνω από τα περιγράμματα της φάσης, χρησιμοποιείται για να βοηθήσει στην αναγνώριση των αγωγών. Σε αυτή την περίπτωση, τα μεγάλα σφάλματα φαίνεται να συσχετίζονται με τις ισχυρότερες, θετικές τετραγωνικές ανωμαλίες. (Paterson, 1970)



Εικόνα 2.8: Παράδειγμα της VLF-HM από Coppermine River, North West Territories.
(Paterson, 1970)

2.3 Αποτελέσματα

Η χρησιμότητα της μεθόδου VLF-HM, για τη διερεύνηση των ορυκτών και της γεωλογικής χαρτογράφησης έχει καθιερωθεί και δεν υπάρχει αμφιβολία ότι θα έχει ευρεία εμφάνιση. Οι μετρήσεις της συνιστώσας τετραγώνων βοηθούν στην επίλυση ανωμαλιών από διάφορες γεωλογικές πηγές. Καλύτερες μέθοδοι επεξεργασίας και ερμηνείας δεδομένων απαιτούνται εάν η μέθοδος VLF-HM χρησιμοποιηθεί στο έπακρο, ιδιαίτερα στις αεροπορικές έρευνες. Οι αερομεταφερόμενες μέθοδοι φαίνεται να έχουν τεράστιες δυνατότητες τόσο στην αναζήτηση όσο και στη χαρτογράφηση. Τα όργανα τόσο για χρήση ελικοπτέρου όσο και για πτέρυγα Rxed δοκιμάζονται στον τομέα και σύντομα θα λειτουργούν κανονικά. Οι μέθοδοι "ενεργών" ραδιοσυχνοτήτων για εξερεύνηση από τρύπες έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικές και πιθανότατα θα έχουν μεγαλύτερη αποδοχή τώρα που η VLF-HM έχει εδραιώσει τη θέση της στην έρευνα των μεταλλευμάτων. (Paterson, 1970)

Η γεωφυσική μέθοδος πολύ χαμηλής συχνότητας έχει αποδειχθεί ότι είναι ένα εξαιρετικό μέσο για την εξαγωγή δομών 2D ως ελαττωμάτων και καταγμάτων μέσω της θέσης του η ροή του νερού λαμβάνει χώρα. Με αυτόν τον τρόπο παρέχεται ένα μέσο αναγνώρισης και οριοθέτησης της παρουσίας δομών 2D ως ελαττώματα και κατάγματα που θα μπορούσαν να λειτουργήσουν ως μεταναστευτικές διαδρομές για τα στραγγίσματα στα απορρίμματα αστικών απορριμμάτων. Συμπερασματικά, γίνεται χρήση τριών τεχνικών για την ερμηνεία της VLF : η τεχνική του Fraser, η τεχνική του Karous-Hjelt και η τροποποιημένη τεχνική K-H. Η στατιστική ανάλυση των μετρήσεων κατεύθυνσης κατάγματος έδειξε την παρουσία ομάδων πρωτογενούς και δευτερογενούς κατάγματος. Οι κύριες ομάδες έχουν τις κατευθύνσεις N-S, NE-SW και NW-SE, κατά σειρά κυριαρχίας. Οι επιφανειακές ανωμαλίες τόσο στο συστατικό της φάσης, όσο και στο εξωγενές συστατικό, εμφανίζονται με τον προσανατολισμό N-S στο κεντρικό και δυτικότερο μέρος του απορριμματοφόρου.

Οι περιοχές εναπόθεσης και τα νέα μικτά σκουπίδια της έρευνας VLF είναι σαφώς ορατά ως κλειστές αρνητικές ανωμαλίες στην ενδιάμεση συνιστώσα. Η παράμετρος γωνίας κλίσης έδειξε την ίδια συμπεριφορά με την συνιστώσα εντός φάσης. Τα αποτελέσματα της τεχνικής του Fraser παρουσιάζουν 9 ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά για το αντικείμενο της μελέτης. Τέσσερις από αυτές είναι προσανατολισμένες σε NW-SE, ενώ τρεις έχουν οδηγίες NE-SW. Το πιο εμφανές ανώμαλο χαρακτηριστικό, ωστόσο, έχει μια μακρά κατεύθυνση N-S, και βρίσκεται στο δυτικότερο μέρος της περιοχής. Από την τεχνική του

Κ-Η συνάγονται τρία βασικά χαρακτηριστικά υψηλής πυκνότητας ρεύματος τα οποία εξηγούνται : 1) ένα σχεδόν NE-SW επιμηκυμένο χαρακτηριστικό στο κέντρο της περιοχής, 2) δύο επιμήκεις NS παράλληλες γραμμές που βρίσκονται στο δυτικό μισό του τόπου, που γίνονται NW-SE στα νότια. Αυτά τα τελευταία χαρακτηριστικά συνεχίζουν σε βάθος, είναι σαφέστερα σε βάθος 40 μέτρων, 3) ένα μικρό χαρακτηριστικό στον τομέα της ΒΔ, της οποίας η κατεύθυνση είναι NW-SE. Αυτά τα επιμήκη χαρακτηριστικά υψηλής πυκνότητας ρεύματος θα μπορούσαν να οφείλονται σε συστήματα θραύσης. Ένα επιμήκιο χαρακτηριστικό υψηλότερης πυκνότητας ρεύματος παρατηρείται επίσης σε βάθος 40 μέτρων, στην ακμή SW της θέσης. Θα μπορούσε να προκληθεί από το μεταλλικό φράκτη που περιβάλλει το προ-Κολομβιανό ανάχωμα, αλλά δεν εμφανίζεται στα 20 μ. Η σχεδόν κατεύθυνση N-S και η θέση του συμπίπτουν με την ανδεσιτική προεξοχή που βρίσκεται εκεί. Τέλος, είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί η συσχέτιση μεταξύ των γραμμών που συνάγεται μέσω της συνεταιριστικής χρήσης και των δύο τεχνικών, με βάση τα χαρακτηριστικά Κ-Η και του Fraser. κατά συνέπεια, μια δομή N-S στο δυτικότερο μέρος της ζώνης, που έχουν την ίδια κατεύθυνση με το Rio Grande de Santiago Canyon, καθώς και τα χαρακτηριστικά NW-SE, κυρίως στο δυτικό μισό της περιοχής. Αυτά τα χαρακτηριστικά NWSE συμπίπτουν με τις κατευθύνσεις της ρήξης Tepic-Zacoalco. Άλλες λειτουργίες NE-SW εμφανίζονται προς το κέντρο της περιοχής. Αυτά τα γεγονότα συσχετίζονται με την κυριαρχία των ομάδων κατάγματος που παρουσιάζονται στην ανάλυση κατάγματος.(Zamora, 2014)

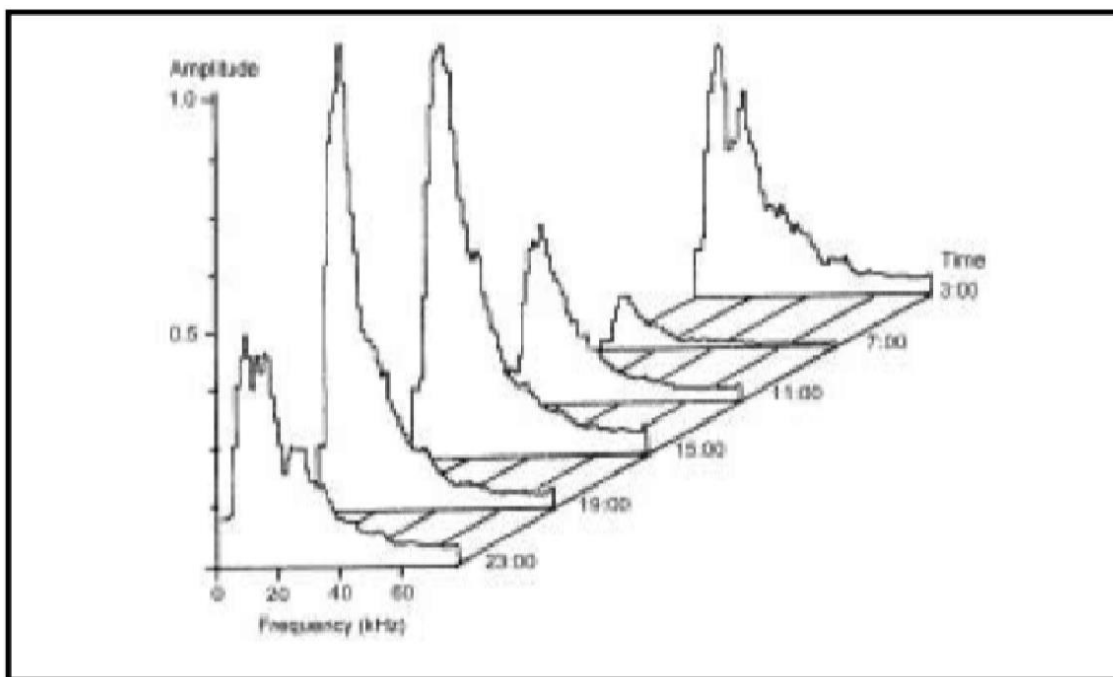
3.ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΣΤΟΥΣ ΖΩΝΤΕΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ

3.1 Γενικά

Ο ζωντανός οργανισμός επηρεάζεται συνεχώς από φυσικές ηλεκτρομαγνητικές επιρροές που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων και πλάτους. Μία από αυτές τις επιδράσεις, με συχνότητες VLF, (1-100 kHz) αντιπροσωπεύεται από ένα φαινόμενο που ονομάζεται VLF-ατμοσφαιρική ή VLF-spherics. Οι σφαίρες είναι πολύ σύντομες, αδύναμες και υγρυνόμενες ηλεκτρομαγνητικές παλμώσεις που δημιουργούνται από ατμοσφαιρικές εκκενώσεις (κεραυνοί). Λόγω αυτού του γεγονότος, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μελετήσουν τα χαρακτηριστικά του κεραυνού, καθώς και τη χαμηλότερη ιονόσφαιρα. Πέραν της σημασίας τους ως δεικτών δραστηριότητας καταιγίδας, έχει υιοθετηθεί ότι οι σφαίρες μπορούν να επηρεάσουν τη λειτουργία των ζωντανών οργανισμών και των φυσικοχημικών συστημάτων. Πιο συγκεκριμένα, αυτή η ατμοσφαιρική παράμετρος θεωρήθηκε αφορμή για αλλαγές στην σωματική και συναισθηματική ευημερία των ανθρώπων, που μερικές φορές αναφέρονται ως συμπτώματα ευαισθησίας στις καιρικές συνθήκες.

3.2 Βιολογικές επιδράσεις

Εκτός από τη σημασία τους ως δείκτες δραστηριότητας καταιγίδας, έχουν αναφερθεί βιολογικές επιδράσεις των VLF-ατμοσφαιρικών σε ανθρώπους. Γενικά, αυτές οι μελέτες χαρακτηρίζονταν από δύο διαφορετικές προσεγγίσεις. Η πλειοψηφία των μελετών βασίστηκε σε μια περιγραφική-συσχετιστική προσέγγιση, όπου οι ιδιότητες της φυσικής σφαιρικής δραστηριότητας συσχετίστηκαν με φυσιολογικές παραμέτρους, δείκτες σωματικής και συναισθηματικής ευεξίας ή μέτρα συμπεριφοράς. Εδώ, η δραστηριότητα των ατμοσφαιρικών σφαιρών περιγράφηκε με ρυθμούς ώθησης (αριθμός σφαιρών ανά μονάδα χρόνου), οι οποίοι καταγράφηκαν σε διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων και περιοχές έντασης. Μόνο σπάνια διεξήχθησαν μελέτες προσομοίωσης για τη διερεύνηση των επιδράσεων του σφαιριδίου στους ανθρώπους υπό ελεγχόμενες πειραματικές συνθήκες. (Schienle, 1998)



Εικόνα 3.1 Δυναμική χρόνου φυσικής δραστηριότητας σφαιριδίων για μία ημέρα.

Τα φάσματα πλάτους των μονών σφαιρικών σημάτων συνδυάστηκαν για διάρκεια τεσσάρων ωρών έκαστη.

Το φασματικό μέγιστο των μεμονωμένων φασμάτων τυποποιήθηκε στο 1.

(Schienle, 1998)

3.3 Σχετικές έρευνες

Μια από τις πρώτες παρατηρήσεις μιας συσχέτισης μεταξύ των βιολογικών διεργασιών στον άνθρωπο και της φυσικής σφαιρικής δραστηριότητας αναφέρθηκε από τον Dorn (1934), ο οποίος περιέγραψε την υπόθεση του Major Holtzei. Ο Major υπέφερε από εμβοές μετά από τραυματισμό στον Πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο. Προκειμένου να εντοπίσει τους σκανδαλισμούς για τους αφόρητους θορύβους του αυτιού, άρχισε να καταγράφει την ένταση των συμπτωμάτων του κάθε μέρα, η οποία έδειξε μια αισθητή συνάφεια με το ρυθμό ώθησης των σφαιρικών. Ήταν ο Reiter (1960) που πραγματοποίησε τις πρώτες ειδικές έρευνες σχετικά με τις βιολογικές επιδράσεις της ατμόσφαιρας στον άνθρωπο. Μεταξύ 1948 και 1954 αξιολόγησε διαφορές στην αντίληψη του πόνου σε διάφορες ομάδες ασθενών σε περιόδους αρκετών μηνών. Ταυτόχρονα, κατέγραψε συχνότητες σφαιρών σε δύο ζώνες συχνότητας (4-12 kHz και 10-50 kHz) και συσχετίζει τόσο τις ατμοσφαιρικές όσο και τις βιολογικές παραμέτρους μεταξύ τους. Χρησιμοποιώντας αυτή

τη μέθοδο, βρήκε σημαντικά θετικές συσχετίσεις μεταξύ του ρυθμού παρορμήσεων των ατμοσφαιρικών και της έντασης του πόνου που αναφέρθηκαν από ασθενείς που πάσχουν από εγκεφαλικά τραύματα, τραυματισμένο ιστό (τραύματα κατά τη λειτουργία, ουλές) ή εσωτερικές ασθένειες (άσθμα, στηθάγχη, ημικρανία). Εκτός αυτού, παρατηρήθηκε υψηλότερα ποσοστά ποινικών αδικημάτων, αυτοκτονιών, τροχαίων ατυχημάτων και παρατεταμένων χρόνων αντίδρασης κατά τη διάρκεια ενισχυμένης φυσικής δραστηριότητας σφαίρας.(Schienle, 1998)

Οι έρευνες των Ruhenstroth-Bauer (1984, 1985, 1987) αποκάλυψαν συνδέσεις μεταξύ των διαφόρων παθολογικών συμπτωμάτων και του ρυθμού ώθησης των ατμοσφαιρικών VLF. Αυτή η ερευνητική ομάδα χρησιμοποίησε μια μέθοδο καταγραφής που αναπτύχθηκε από τους Baumer και Eichmeier (1980), οι οποίοι περιγράφουν την ατμοσφαιρική ως έχει σαφώς διαχωρισμένα φασματικά μέγιστα στα 6, 8, 10, 12 και 28 kHz. Οι ρυθμοί παρορμήσεων σε αυτές τις συχνότητες συσχετίστηκαν με την εμφάνιση επιληπτικών κρίσεων, αιφνίδιας κώφωσης και εμφράγματος του μυοκαρδίου. Στην ομάδα των ασθενών που πάσχουν από επιληψία ($n = 6$), οι οποίοι παρακολούθηθηκαν σε περίοδο 7 μηνών, η εμφάνιση των επιληπτικών κρίσεων συσχετίστηκε θετικά ($r_s = 30$) με το ρυθμό των 28 kHz και συσχετίστηκε αρνητικά ($r_s = -20$) με την ταχύτητα 10 kHz (Ruhenstroth Bauer et al., 1984). Σε περιπτώσεις ξαφνικής κώφωσης, οι οποίες αναλύθηκαν σε δείγμα 203 ασθενών για περίοδο ενός έτους, εμφανίστηκε αυξημένη συχνότητα εμφάνισης της νόσου για συγκεκριμένη ημέρα, όταν ο ρυθμός ώθησης στην περιοχή των 8 kHz ήταν χαμηλός και η (H) συχνότητα των 12 kHz της ημέρας πριν ήταν υψηλή. Η συσχέτιση με αυτό το συνδυασμένο μέτρο σφαιριδίων ήταν $R = .23$ (RuhenstrothBauer et al., 1987). Επιπλέον, παρατηρήθηκε θετική συσχέτιση ($r = .15$) μεταξύ του αριθμού των ασθενών που έγιναν δεκτοί στα νοσοκομεία λόγω εμφράγματος του μυοκαρδίου και σφαιρικής δραστηριότητας στη ζώνη των 28 kHz μελετώντας 162 κλινικές εισαγωγές λόγω αυτής της διάγνωσης (Ruhenstroth-Bauer et al. 1985). Μια σύνδεση μεταξύ των ατμοσφαιρικών και της εμφάνισης καρδιακών προσβολών είχε παρατηρηθεί προηγουμένως από τους Brezowsky και Rantscht-Froemsdorff (1966), και από τον Klein (1968). Ωστόσο, στις μελέτες αυτές οι χαμηλοί ρυθμοί παλμού (εύρος $\approx 0,02 \text{ V / m}$) συσχετίστηκαν με αυξημένη συχνότητα εμφράγματος του μυοκαρδίου..(Schienle, 1998)

Μια έρευνα από τους Sulman, Levy και Lunkan (1976) έδειξε ότι κατά τη διάρκεια ενισχυμένων ρυθμών σφαιριδίων στην περιοχή των 10 kHz, τα άτομα παρουσίαζαν συχνότερα συμπτώματα όπως ημικρανία, διαταραχές ύπνου ή ένταση. Οι Pelz και Swantes

(1986) συγκέντρωσαν αναφορές ημερήσιου πόνου από ασθενείς με ακρωτηριασμένα πόδια ($n = 178$) για μια περίοδο τεσσάρων ετών και τους έβαλαν σε σχέση με τη δραστηριότητα 5 kHzsferics (πλάτος $> 14 \text{ mV} / [\text{Hz m}]$). Και οι δύο παράμετροι συνδέθηκαν θετικά μεταξύ τους ($r = 0,68$). Επιπλέον, ο αριθμός των καταιγίδων που καταγράφηκαν στις κατοικημένες περιοχές των ασθενών συσχετίστηκε επίσης με τον αριθμό των καταγγελιών φανταστικών άκρων ($r = .47$). Μια σχέση μεταξύ των VLF-ατμοσφαιρικών και των συμπτωμάτων του πόνου είχε επίσης ανιχνευθεί από τον Ludwig (1973). Εδώ, οι ασθενείς που πάσχουν από ρευματισμούς έδειξαν ότι αισθάνθηκαν περισσότερους πόνους κατά τη διάρκεια των νυκτερινών περιόδων, οι οποίες χαρακτηρίστηκαν από μια έντονη αύξηση της σφαιρικής δραστηριότητας (πλάτος $0,02 \text{ V} / \text{m}$). Τέλος, ο Laaber (1987) παρατήρησε ότι οι μαθητές ($n = 23$) έκαναν περισσότερα λάθη σε ένα έργο συγκέντρωσης όταν οι ρυθμοί των σφαιριδίων στην περιοχή των 10 kHz είχαν αυξηθεί τη νύχτα πριν από τη δοκιμή ($r = 3,5$). (Schienle, 1998)

Αρνητικά αποτελέσματα αποκτήθηκαν στις μελέτες των Ungeheuer (1952), Lieû (1959) και Harlfinger (1991). Με το έργο του Reiter (1950), ο Lieû (1959) ανέλυσε τη σχέση μεταξύ της σωματικής και ψυχικής κατάστασης των νοσηλευόμενων ασθενών ($n = 30$) και της δραστηριότητας των sphericities στην περιοχή μεταξύ 3 και 50 kHz. Καμία από τις τρεις ομάδες συμπτωμάτων που αναλύθηκαν (καρδιακή / κυκλοφορική, ουλές / κάταγμα και ψυχικές καταγγελίες) δεν συνδέθηκε με το ρυθμό της ατμόσφαιρας, που είχε καταγραφεί καθημερινά για μια περίοδο 6 μηνών. Στο ίδιο πνεύμα, ο Ungeheuer (1952) δεν διαπίστωσε αύξηση των παθολογικών περιπτώσεων σε 64 βαναρικές κλινικές κατά τη διάρκεια μιας νύχτας (2.7-3.75.152) με έντονα ενισχυμένη δραστηριότητα σφαίρας στη ζώνη των 28 kHz. Τέλος, ο Harlfinger (1991) παρακολούθησε 8 άτομα σε διάστημα 4 εβδομάδων. Σε καθημερινή βάση, η συγκέντρωση βήτα-ενδορφίνης στο φλεβικό αίμα καθώς και οι φυσικοί ρυθμοί σφαίρας ($< 100 \text{ kHz}$) είχαν προσδιοριστεί και τεθεί σε σχέση μεταξύ τους. Δεν μπορούσε να αποκαλυφθεί καμία συσχέτιση. Εξετάζοντας το μέγεθος των δεδομένων που συλλέχθηκαν σε αυτές τις συσχετιστικές μελέτες, το η επικράτηση των θετικών αποτελεσμάτων φαίνεται να υποστηρίζει την υπόθεση ότι τα σφαιρικά είναι βιολογικά αποτελεσματικά. Ωστόσο, οι συσχετιζόμενες μελέτες δεν μπορούν να ανιχνεύσουν αιτιώδεις συνδέσεις και δεν μπορεί να αποκλειστεί η πιθανότητα ότι άλλες περιβαλλοντικές παράμετροι που σχετίζονται με τη δραστηριότητα των σφαιριδίων είναι υπεύθυνες για τις παρατηρούμενες βιολογικές μεταβολές. Εκτός αυτού, ένα άλλο πρόβλημα που παρουσιάζεται καθ'όλη την ιστορία της έρευνας σφαιρών σχετίζεται με τις

μεθόδους εγγραφής και ανάλυσης που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της ατμοσφαιρικής. Οι περιγραφείς εφαρμοσμένου σήματος είναι ετερογενείς μεταξύ διαφορετικών ερευνητικών ομάδων και ποικίλλουν αναφορικά με τις εφαρμοζόμενες κλίμακες εύρους και συχνότητας. Ως εκ τούτου, τα αποτελέσματα είναι δύσκολο να συγκριθούν. Επιπλέον, οι επικριτές του Baumer – Eichmeier-System (Baumer & Eichmeier, 1980) ερμηνεύουν τα ξεχωριστά μέγιστα συχνότητας σφαιρών που αναφέρθηκαν από τους συγγραφείς ως αντικείμενα λόγω σφαλμάτων μέσα στη μέθοδο ανάλυσης. Έτσι, οι κυρίαρχες συχνότητες σφαιρών που βρέθηκαν από τους Baumer και συνεργάτες αντανακλούν μόνο εν μέρει τα φυσικά χαρακτηριστικά του σφαιριδίου. Συνεπώς, τα αποτελέσματα των βιολογικών μελετών τους, τα οποία αποτελούν μεγάλο μέρος της πρόσφατης έρευνας σφαιρικών αναφορικά με τον άνθρωπο, πρέπει να εξεταστούν με σκεπτικισμό (για λεπτομέρειες σχετικά με αυτό το πρόβλημα βλέπε König et al., 1990). (Schienle, 1998)

3.4 Έρευνες προσομοίωσης

Προκειμένου να εντοπιστούν οι βιολογικές επιδράσεις των σφαιριδίων, πρέπει να διεξαχθούν μελέτες προσομοίωσης όπου τα σήματα μπορούν να παρουσιαστούν υπό ελεγχόμενες πειραματικές συνθήκες. Μια πρώτη προσπάθεια να αποδειχθεί μια τέτοια επίδραση στον άνθρωπο εκτελέστηκε από τους Ludwig και Mecke (1968). Στην πιλοτική τους μελέτη, οι συγγραφείς εκθέτουν τα θέματα σε διάφορα προγράμματα "sferics", που χαρακτηρίζονται από διαφορετικά πλάτη ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου (1 V / m, 10 mV / m, 26,5 m A / m, 2,65 mA / m). Οι τετραγωνικοί παλμοί με συχνότητες 10 και 100 kHz παρουσιάστηκαν με συχνότητες επανάληψης παλμών 2,5, 5, 10 ή 20 Hz. Η προσομοίωση προκάλεσε καταγγελίες για ζάλη σε μερικά από τα άτομα που είχαν διαγνωσθεί ως «ελαστικά vagotonics», το οποίο υποδηλώνει υπερευαισθησία του παρασυμπαθητικού νευρικού συστήματος.

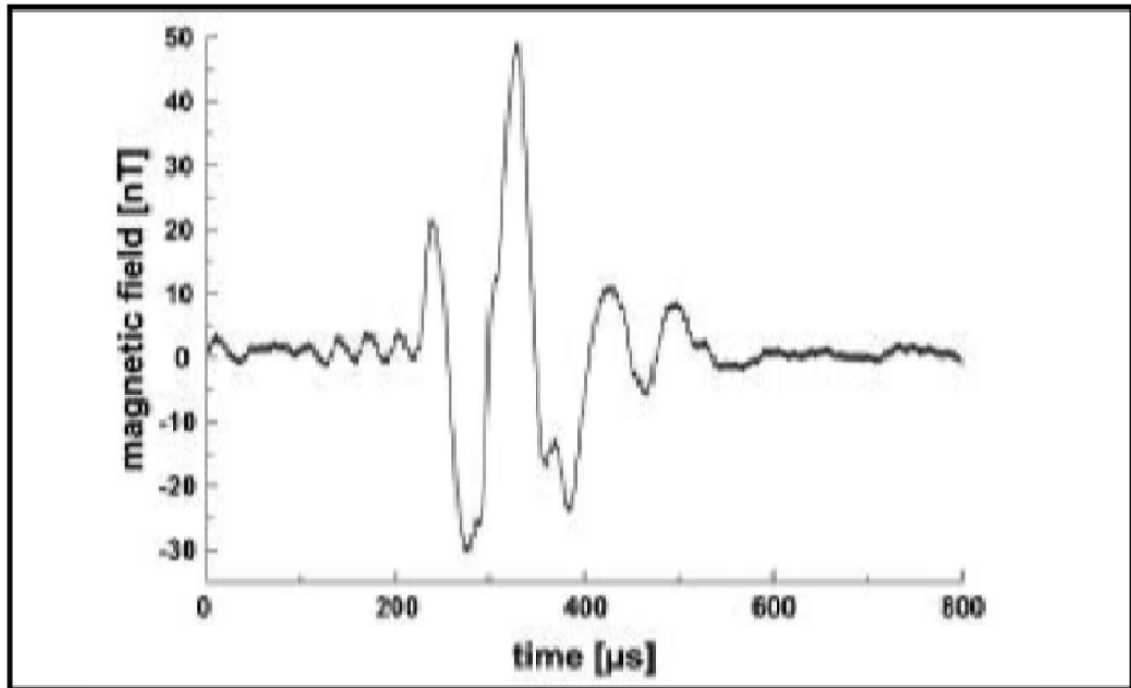
Ο Ranscht-Froemsdorff και ο Rink (1972) διερεύνησαν την επίδραση των σφαιριδίων στην πήξη του αίματος. Μέσα σε θωρακισμένο θάλαμο κλιματισμού, τα υποκείμενα εκτέθηκαν για αρκετές εβδομάδες είτε σε μια στενή ζώνη 10 kHz-ώθηση με πλάτος 10 mV / m και συχνότητα επανάληψης που κυμαίνεται μεταξύ 3 και 10 Hz, είτε σε μια ευρεία ζώνη (10-100 kHz) με πλάτος 100 mV / m και ρυθμό ώθησης που κυμαίνεται μεταξύ 30 και 100 Hz. Και τα δύο προγράμματα σφαίρας που στοχεύουν στην προσομοίωση των καιρικών

συνθηκών "good" και "bad" προκάλεσαν επιβράδυνση στην πήξη του αίματος όταν η θερμοκρασία δωματίου ήταν μεταξύ 17-22 °C.

Jacobi et al (1981) κατέδειξαν επίσης την επίδραση των σφαιριδίων VLF στη σύνθεση του αίματος. Μετά από έκθεση 3 ωρών σε ένα παλμό 10 kHz-σφαιριδίων με πλάτος 0,4 V / m, το οποίο επαναλήφθηκε με συχνότητα 10 Hz, η προσκόλληση των αιμοπεταλίων αυξήθηκε σημαντικά. Αυτή η ανταπόκριση ήταν πιο έντονη σε ανήσυχα και καταθλιπτικά άτομα, τα οποία είχαν επιτύχει υψηλές βαθμολογίες στην κλίμακα psychasthenia του MMPI (Minnesota Multiphasic Personality Inventory, 1963).

Οι ηλεκτρορρυθμικές επιδράσεις παρατηρήθηκαν σε μια πιλοτική μελέτη που εκτελέστηκε από τους Tirsch et al. (1994). Η εφαρμογή των σφαιρών 10 kHz με ένταση μαγνητικού πεδίου 50 nT για μόλις δέκα λεπτά οδήγησε σε μια μέγιστη μετατόπιση της συχνότητας εντός της ζώνης EEG άλφα (8-13 Hz) στις ινιακές περιοχές αυξάνοντας την ισχύ των ταχύτερων ταλαντώσεων εντός αυτής της περιοχής συχνοτήτων.

Παρόμοια με τις συσχετιστικές μελέτες, τα πειράματα προσομοίωσης επηρεάστηκαν επίσης από διαφορετικά μεθοδολογικά προβλήματα. Τα τεχνητά παραγόμενα σφαιρικά σήματα διέφεραν σε μεγάλο βαθμό σε σχέση με το πλάτος και το ερέθισμα. Συχνά χρησιμοποιήθηκαν τετραγωνικοί ή ημιτονοειδείς παρορμήσεις οι οποίες είναι πολύ διαφορετικές από το σχήμα των φυσικών σφαιρικών όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.2. Για την πλειονότητα των πειραμάτων, εφαρμόστηκαν μόνο ηλεκτρικά πεδία, τα οποία δεν μπορούν να θεωρηθούν ότι αντιπροσωπεύουν με ακρίβεια το φυσικό περιβάλλον στο οποίο εμφανίζονται τα σφαιρίδια, καθώς οι περισσότεροι άνθρωποι δαπανούν το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου σε εσωτερικούς χώρους, όπου το ηλεκτρικό στοιχείο δεν μπορεί να διεισδύσει. Επομένως, φαίνεται πιθανότερο ότι το μαγνητικό πεδίο των ατμοσφαιρικών είναι βιολογικά αποτελεσματικό.



Εικόνα 3.2 Προσομοιωμένη ώθηση. (10 kHz-σφαιρικών με διάρκεια 500 ms και πυκνότητα μαγνητικής ροής 50 Nt)

(Schienle, 1998)

Για το λόγο αυτό, διεξήχθησαν μια σειρά πειραμάτων για να εξεταστεί εάν το μαγνητικό συστατικό ενός σφαιρικού παλμού είναι ικανό να επηρεάσει τον ανθρώπινο οργανισμό. Για την προσομοίωση, επιλέχθηκε ένα σφαιρικό σήμα 10 kHz με διάρκεια 500 ms όπως φαίνεται στην εικόνα 3.2 και εφαρμόστηκε με μια νέα γεννήτρια ατμοσφαιρικών παλμών με την οποία μπορούν να αναπαραγόνται με ακρίβεια οι φυσιολογικοί φυσικοί σφαιριστές. Το μαγνητικό στοιχείο του εφαρμοζόμενου σήματος είχε ένα πλάτος 50 nT, το οποίο είναι χαρακτηριστικό για μια καταιγίδα σε κοντινή απόσταση (<100 km). Το ερέθισμα εφαρμόστηκε με συχνότητα επανάληψης παλμών που κυμαίνεται τυχαία μεταξύ 7 και 20 Hz, που αντιπροσωπεύει έντονη δραστηριότητα καταιγίδας. Το ηλεκτρικό στοιχείο του σφαιρικού παλμού ήταν θωρακισμένο και επομένως δεν είχε καμία επίδραση στα θέματα.

Ως μια εξαρτώμενη φυσιολογική μεταβλητή για την εξέταση της βιολογικής αποτελεσματικότητας των ατμοσφαιρικών VLF, επιλέχθηκε το EEG επειδή σε άλλες έρευνες η σφαιρική δραστηριότητα είχε συνδεθεί με αλλαγές στη σύνθετη συμπεριφορά, την αντίληψη του πόνου και το επίπεδο διέγερσης των οργανισμών, το οποίο δείχνει ότι το σήμα αυτό μπορεί να δρά πάνω στο κεντρικό νευρικό σύστημα, στις φλοιώδεις ή

υποφλοιώδεις δομές. Επιπλέον, οι ηλεκτρικές διεργασίες του εγκεφάλου είχαν επηρεαστεί από την εφαρμογή των 10 kHz σφαιρικών παλμών όπως στη μελέτη του Tirsch et al. (1994).

Στην πρώτη μας μελέτη, 52 υποκείμενα εκτέθηκαν στο περιγραφόμενο σήμα 10 kHz-σφαίρες για 10 λεπτά. Η ηλεκτροκορηχτική δραστηριότητά τους στο παρελθόν σε αυτό το χρονικό διάστημα συγκρίθηκε με 10λεπτη περίοδο ελέγχου χωρίς προσομοίωση σφαιριδίων. Αυτό έγινε σε έξι θέσεις ηλεκτροδίων σε δεξιά και αριστερή μετωπική, βρεγματική και ινιακή περιοχή. Η έκθεση προκάλεσε σημαντική μείωση της ισχύος του EEG άλφα (8-13 Hz) σε βρεγματικές και ινιακές περιοχές σε σύγκριση με την κατάσταση ελέγχου. Ωστόσο, διαπιστώθηκαν διαφορές απόκρισης μεταξύ των υποκειμένων που υπέστησαν πρώτα την κατάσταση των σφαιριδίων σε σύγκριση με τα άτομα που είχαν ξεκινήσει το πείραμα με την κατάσταση ελέγχου. Ενώ η πρώτη ομάδα εμφάνισε μείωση της ισχύος άλφα υπό θεραπεία, η δεύτερη ομάδα έδειξε μια τάση προς την αντίθετη κατεύθυνση. Ως πιθανή εξήγηση για αυτό το φαινόμενο αλληλουχίας, υποτίθεται ότι ένα καθυστερημένο ή παρατεταμένο φαινόμενο της σφαίρας θα μπορούσε να προκάλεσε τις διαφορετικές αντιδράσεις απόκρισης. Υποθέτοντας ότι μετά την ολοκλήρωση της θεραπείας, η επίδραση της σφαίρας συνέχισε να υπάρχει με τη μορφή μιας περαιτέρω αύξησης ισχύος, αυτή η απόκριση θα ερμηνευόταν λανθασμένα ως μια μείωση ισχύος που προκαλείται από σφαιρίδια.

Αυτή η υπόθεση εξετάστηκε σε ένα δεύτερο πείραμα. Εδώ, η καταχώριση EEG συνεχίστηκε μετά το τέλος της έκθεσης, προκειμένου να ανιχνευθούν ενδεχόμενα παρατεταμένα αποτελέσματα. Τα 40 άτομα που συμμετείχαν στο πείραμα χωρίστηκαν σε δύο ομάδες. Η πειραματική ομάδα υποβλήθηκε σε 10λεπτη περίοδο αναφοράς, ακολουθούμενη από διέγερση των 10λεπτών σφαιρών και στη συνέχεια 20 λεπτά χωρίς εφαρμογή σφαιριδίων. Η ομάδα ελέγχου υποβλήθηκε σε 40 λεπτά χωρίς διέγερση των σφαιρικών. Όπως και στο πρώτο πείραμα, οι ομάδες συγκρίθηκαν σε σχέση με τη φασματική ισχύ τους στις διάφορες ζώνες συχνοτήτων του EEG σε έξι θέσεις ηλεκτροδίων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η έκφραση των σφαιριδίων προκάλεσε αυξήσεις της ισχύος άλφα σε όλες τις καταχωρημένες θέσεις ηλεκτροδίων, με εξαίρεση την αριστερή βρεγματική περιοχή. Επιπλέον, επιδείχθηκε ενίσχυση της βήτα ισχύος (14-30 Hz), η οποία περιοριζόταν στο δεξιό ημισφαίριο. Το αποτέλεσμα ήταν παρόντα κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης και συνέχισαν να υπάρχουν μέχρι 10 λεπτά μετά το τέλος της θεραπείας.

Προκειμένου να αναπαραχθεί αυτό το εύρημα, διεξήχθη ένα τρίτο πείραμα. Τριάντα δύο γυναίκες που υπέφεραν από επιθέσεις ημικρανίας ή πονοκεφάλους τύπου τάσης, οι οποίες χαρακτηρίστηκαν ως ευαίσθητες στις καιρικές συνθήκες, υποβλήθηκαν στην ίδια διαδικασία με τα υποκείμενα στην προηγούμενη μελέτη. Τα μισά από τα θηλυκά εκτέθηκαν σε σφαιρίδια, ενώ το άλλο μισό σχημάτισε την ομάδα ελέγχου. Και πάλι, η έκθεση προκάλεσε αυξήσεις στην ισχύ άλφα σε όλα τα ηλεκτρόδια καθώς και βελτιώσεις στην βήτα ισχύ, οι οποίες περιορίζονταν σε βρεγματικές και ινιακές περιοχές. Και πάλι, θα μπορούσε να εντοπιστεί ένα παρατεταμένο φαινόμενο της σφαίρας. Τα άτομα της πειραματικής ομάδας βρίσκονταν ακόμη σε αυξημένο επίπεδο ισχύος άλφα στις βρεγματικές περιοχές 20 λεπτά μετά το τέλος της έκθεσης. Εντούτοις, η διέγερση δεν προκάλεσε συμπτώματα κεφαλαλγίας, τα οποία συμβαδίζουν με τα προηγούμενα αποτελέσματα, αποδεικνύοντας ότι η βραχυπρόθεσμη έκθεση σε σφαιρίδια δεν ήταν συνειδητά αντιληπτή ή ικανή να προκαλέσει αλλαγές στη συναισθηματική και σωματική ευημερία από τα υποκείμενα.

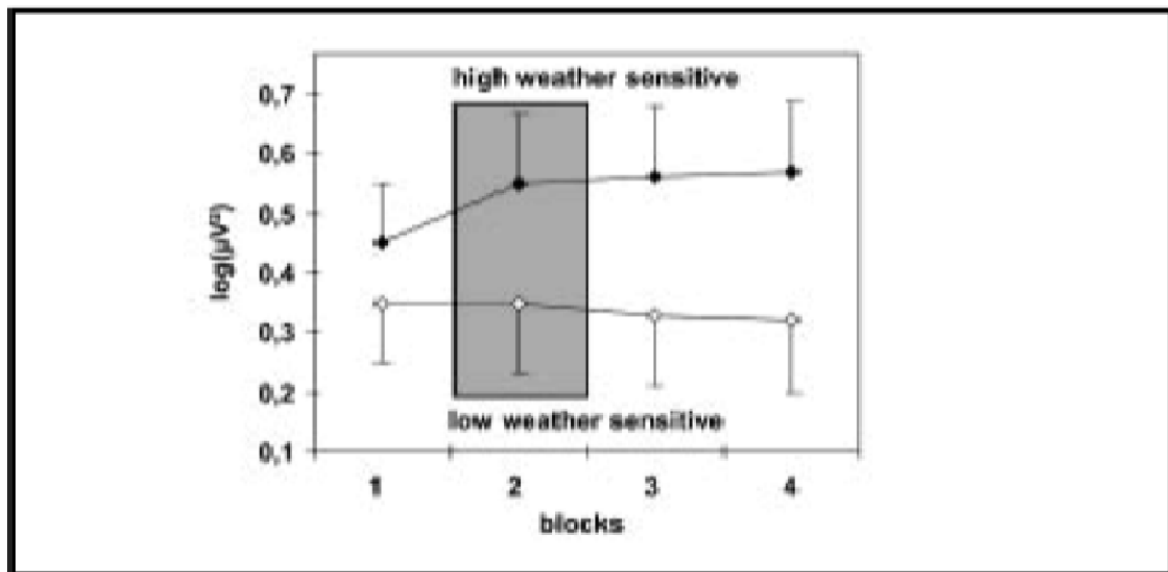
3.5 Υποκειμενικές διαφορές στις ανταποκρίσεις

Εκτός από την ανησυχία στο πλαίσιο της έρευνας για την περιγραφή των βιολογικών επιδράσεων που προκαλούνται από αυτό το ερέθισμα, μια περαιτέρω προσέγγιση που αποσκοπεί στην απόδειξη των μεμονωμένων διαφορών στην ανταπόκριση των σφαιριδίων. Αυτή η διαφορική προσέγγιση ήταν η βάση στην υπόθεση ότι ορισμένοι συνταγματικοί παράγοντες συνδέονται με μια αυξημένη ή μειωμένη ευαισθησία προς τα σφαιρίδια και ως εκ τούτου μπορούν να δράσουν ως μεσολαβητές της αποτελεσματικότητας των σφαιριδίων. Μια έννοια που συχνά αναφέρεται σε αυτό το πλαίσιο αλλά που δύσκολα διερευνάται είναι ευαισθησία στις καιρικές συνθήκες. Ορίζεται ως η αυξημένη αντιδραστικότητα έναντι των παραλλαγών στις ατμοσφαιρικές παραμέτρους όπως η υγρασία, η πίεση, η θερμοκρασία κλπ. Συχνά συμπτώματα είναι κόπωση, αρνητική διάθεση, μειωμένο κίνητρο εργασίας και πονοκεφάλους. Ο υψηλός βαθμός ευαισθησίας στις καιρικές συνθήκες, ο οποίος εκτιμάται ότι ανέρχεται σε 30% στις μεσαίες ευρωπαϊκές χώρες, υπογραμμίζει τη σημασία της μελέτης της ακόμη άγνωστης προέλευσης αυτού του συνδρόμου. Ήταν ο Reiter (1960) που υπέθεσε ότι η ευαισθησία των μικροοργανισμών σε σφαιρίδια μπορεί να είναι η βάση για ευαισθησία στις καιρικές

συνθήκες. Είχε παρατηρήσει ότι διαφορετικές ομάδες ασθενών εμφάνισαν συμπτώματα πόνου μία ή δύο ημέρες πριν από την επερχόμενη αλλαγή του καιρού, όταν δεν υπήρχαν ορατά σημάδια για αυτή την αλλαγή, αλλά η δραστηριότητα των σφαιρικών είχε ήδη αυξηθεί. Σύμφωνα με αυτή την υπόθεση είναι οι παρατηρήσεις των Sulman et al. (1976), οι οποίοι παρατήρησαν αυξημένη εμφάνιση συμπτωμάτων ευαισθησίας στις καιρικές συνθήκες κατά τη διάρκεια της ενισχυμένης δραστηριότητας της σφαίρας στη ζώνη των 10 kHz.

Εκτός από αυτό, μια επιπλέον ένδειξη για μια διαφορική αποτελεσματικότητα του σφαιριδίου μπορεί να συναχθεί από τα αποτελέσματα των Jacobi et al. (1981), και Ludwig and Mecke (1968), οι οποίοι ανακάλυψαν ότι τα υποκείμενα ανταποκρίθηκαν πιο έντονα στη προσομοίωση των σημάτων που μοιάζουν με σφαίρες όταν ήταν συναισθηματικά ή φυτικά ασταθή. Δεδομένου ότι αυτά τα αποτελέσματα δεν αρκούν για να κρίνουμε τη σημασία της αντίληψης ευαισθησίας καιρού για την αντιδραστικότητα των σφαιριδίων, αυτή η πτυχή καλύφθηκε επίσης από σειρά πειραμάτων. Σε όλες τις μελέτες, τα άτομα συμπλήρωσαν μια λίστα με τα συμπτώματα του καιρού (WSL). Το μέτρο αυτό σχηματίστηκε από τα στοιχεία που αναφέρθηκαν από τον Faust (1973), ο οποίος είχε ρωτήσει 778 ενήλικες για κοινά συναισθηματικά και σωματικά συμπτώματα αντιδραστικότητας. Τα πιο συχνά ονομάστηκαν 25 καταγγελίες και συμπεριλήφθηκαν στο WSL.

Θα μπορούσε να αποδειχθεί ότι η ηλεκτροκρωτική απόκριση των υποκειμένων έναντι των σφαιρικών εξαρτάται από τον βαθμό ευαισθησίας τους στις καιρικές συνθήκες. Οι υψηλοί σκόρερ στο WSL εμφάνισαν αύξηση ισχύος άλφα που ξεπέρασε την περίοδο διέγερσης κατά 20 λεπτά μέχρι το τέλος της εγγραφής, ενώ οι χαμηλοί σκόρερ εμφάνισαν μόνο μικρές αλλαγές ισχύος σε όλο το πείραμα ανάλογο της εικόνας 3.3. Αυτή η διαδικασία ήταν πιο έντονη σε μια συγκεκριμένη υποζώνη του άλφα με συχνότητες μεταξύ 11 και 13 Hz.



Εικόνα 3.3 Μέσα και τυποποιημένα σφάλματα για μετασχηματισμένη ισχύ άλφα (11-13 Hz) στα τέσσερα 10λεπτα μπλοκ του πειράματος που συγκρίνουν τους υψηλούς και τους χαμηλότερους δείκτες στο ερωτηματολόγιο ευαισθησίας καιρού (άνω και κάτω τρίτο) στο ηλεκτρόδιο O₂. (Schienle, 1998)

Παρόμοιες μεταβολές στην αλφα-δύναμη που προκλήθηκαν από τα σφαιρικά εμφανίστηκαν από άτομα με υψηλό βαθμό νευρωτισμού και σωματικών διαταραχών. Αυτά τα χαρακτηριστικά έδειξαν πολύ θετικές συσχετίσεις ($r > .70$) με τη διάσταση ευαισθησίας του καιρού. Οι συγκρίσιμες απαντήσεις στη προσομοίωση των σφαιριδίων εμφανίστηκαν από γυναίκες που πάσχουν από επιθέσεις ημικρανίας και πονοκεφάλους, τύπου έντασης, οι οποίοι χαρακτηρίστηκαν ως ευαίσθητοι στις καιρικές συνθήκες. Αυτή η ομάδα, η οποία ανέφερε ότι συγκεκριμένες καιρικές συνθήκες (π.χ. ξαφνικές μεταβολές θερμοκρασίας, επερχόμενες καταιγίδες) λειτουργούν ως πυροδότες για τον πόνο τους, έδειξαν επίσης παρατεταμένη αύξηση της ισχύος της άλφα στην έκθεση, η οποία ήταν παρούσα στις βρεγματικές περιοχές.

3.6 Επεξηγηματικές προσεγγίσεις

Στην πλειονότητα των μελετών που αναλύουν τη βιολογική αποτελεσματικότητα των VLF ατμοσφαιρικών σε ανθρώπους, έχουν ληφθεί θετικά αποτελέσματα. Παρόλο που ορισμένες από τις έρευνες δεν ήταν απαλλαγμένες από μεθοδολογικές ατέλειες, η ποσότητα των δεδομένων που συλλέχθηκαν σε αυτόν τον τομέα υποστηρίζει έντονα την ιδέα ότι οι σφαίρες μπορούν πράγματι να επηρεάσουν το ανθρώπινο σώμα. Η

επαναλαμβανόμενη επίδειξη ηλεκτροκαρδιακών επιδράσεων που προκαλείται από ένα ακριβώς αναπαραγόμενο μαγνητικό συστατικό ενός παλμού 10 kHz-σφαιρικών υπογραμμίζει περαιτέρω τη φυσιολογική σημασία αυτής της ατμοσφαιρικής παραμέτρου.

Λαμβάνοντας υπόψη το εξαιρετικά χαμηλό πλάτος και τη βραχεία διάρκεια των σφαιρικών παρορμήσεων, η ικανότητα αυτού του σήματος να προκαλεί αλλαγές στους ζώντες οργανισμούς είναι εκπληκτική και αξιοσημείωτη την ίδια στιγμή, καθώς εκθέτονται σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία πολύ υψηλότερων εντάσεων σε καθημερινή βάση, π.χ. από τεχνολογικές πηγές. Ηλεκτρικές συσκευές και εργαλεία, όπως ηλεκτρονικοί υπολογιστές και οθόνες τηλεόρασης, κουβέρτες θέρμανσης ή σίδερα συγκόλλησης, παράγουν αντοχές μαγνητικού πεδίου κάποιων microTeslas όταν τους αγγίζουμε ή βρίσκονται κοντά. Συγκριτικά, τα πλάτη των τυπικών VLF-ατμοσφαιρικών είναι στην περιοχή nanoTesla και έτσι, μόνο ένα κλάσμα από τα περιγραφόμενα τεχνικά πεδία που θεωρείται ότι δεν έχουν σημαντικές βιοεπιδράσεις.

Έτσι, προκαλούνται ερωτήματα ως προς το γιατί τα σφαιρίδια θα μπορούσαν να είναι βιολογικά αποτελεσματικά παρά το χαμηλό εύρος τους και πώς αυτή η επιρροή θα μπορούσε να μεταδοθεί στον οργανισμό. Μια πιθανή εξήγηση παρέχεται από την έννοια των βιολογικών παραθύρων, που δηλώνει ότι οι οργανισμοί χαρακτηρίζονται από διαφορετικές ευαισθησίες σε συγκεκριμένες συχνότητες καθώς και πλάτη εντός του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Όσον αφορά τα παράθυρα συχνότητας, μπορεί να αποδειχθεί ότι οι οργανισμοί είναι ευαίσθητοι σε πεδία ELF ή πεδία παλμών ELF (1-300 Hz), ειδικά όταν οι συχνότητες σημάτων αντιστοιχούν σε συχνότητες εγκεφαλικών κυμάτων.

Όσον αφορά τις έρευνες για τον άνθρωπο, αποδείχθηκε ότι αυτοί οι τύποι ερεθισμάτων ήταν σε θέση να αλλάξουν την ηλεκτροκορχητική δραστηριότητα με τρόπο πολύ παρόμοιο με τα αποτελέσματα που παρατηρήθηκαν στις μελέτες προσομοίωσης των σφαιριδίων. Σε ένα πείραμα του von Klitzing (1993), τα υποκείμενα εκτέθηκαν σε ένα σήμα 150 MHz χαμηλού πλάτους (1 m W / cm^2) το οποίο παλλόταν με μια συχνότητα που κυμαινόταν μεταξύ 8 και 10 Hz. Μια διέγερση για 15 λεπτά προκάλεσε αύξηση της δραστηριότητας του EEG άλφα. Χρησιμοποιώντας ένα σήμα 150 MHz με ένταση 100 nT και συχνότητα παλμού 217 Hz, αυξήθηκαν επίσης οι ταλαντώσεις των 10 Hz (von Klitzing, 1995). Και στις δύο περιπτώσεις, το αποτέλεσμα επέκτεινε την περίοδο διέγερσης για μερικά λεπτά. Αυξήσεις της άλφα δραστηριότητας παρατηρήθηκαν επίσης σε μια μελέτη των Caccia και

Castelpietra (1985), οι οποίοι εφάρμοσαν ένα πεδίο 2,2 mT για 20 λεπτά. Η συχνότητα επανάληψης σήματος ήταν μεταβλητή με μέσο όρο στα 50 Hz. Ο Lyskov et al. (1993) αποκάλυψε μια σημαντική αύξηση της άλφα καθώς και της βήτα ισχύος εκθέτοντας τα άτομα σε ένα διακεκομμένο (1s on / off) ημιτονοειδές σήμα 45 Hz με πλάτος 1,26 mT για 15 λεπτά. Μια μεμονωμένη μελέτη περιπτώσεων από τους Sandyk και Derparap (1993) έδειξε ότι οι ελάχιστες εντάσεις πεδίου μπορούν να επαρκούν για να προκαλέσουν αλλαγές στην ηλεκτροκορηχτική δραστηριότητα. Ένας ασθενής που πάσχει από νόσο του Πάρκινσον εκτέθηκε σε ένα πεδία 7.5 picoTesla παλλόμενο με 5 Hz. Η επαναλαμβανόμενη διέγερση για 10 λεπτά οδήγησε σε αύξηση της ισχύος άλφα και βήτα.

Όπως αυτές οι έρευνες επεξηγούν, οι άνθρωποι είναι σε θέση να ανταποκριθούν σε ασθενή ELF και σε παλμικά μαγνητικά πεδία ELF με αλλαγές στην ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου. Η έκθεση προκάλεσε προσωρινές βελτιώσεις της ισχύος άλφα και βήτα, αποτέλεσμα που ευθυγραμμίζεται με τις παρατηρούμενες ηλεκτροκαρδιακές επιδράσεις που προκαλούνται από τα σφαιρίδια VLF, τα οποία επίσης μπορούν να θεωρηθούν ως σήματα με παλμούς ELF.

Ο König et al. (1981) υιοθετούν μια εξελικτική προσέγγιση στην ανασκόπηση των βιολογικών επιπτώσεων του περιβαλλοντικού ηλεκτρομαγνητισμού. Οι συγγραφείς επισημαίνουν ότι οι οργανισμοί έχουν εκτεθεί σε μια ποικιλία ηλεκτρομαγνητικών ενεργειών κατά τη διάρκεια της εξέλιξης. Όταν η ζωή άρχισε να εξελίσσεται στη γη χαρακτηριζόταν από έντονη δραστηριότητα καταιγίδας, όταν η ατμόσφαιρα εμφανίστηκε με μεγάλη συχνότητα και με μεγάλη ένταση. Κατά συνέπεια, ο οργανισμός μπορεί να έχει προσαρμοστεί σε αυτόν τον τύπο ηλεκτρομαγνητικού φαινομένου όπως έκανε και σε άλλες ηλεκτρομαγνητικές ενέργειες όπως το ορατό φως. Μια ένδειξη για μια τέτοια προσαρμογή θα μπορούσε να διαπιστωθεί στην ύπαρξη της ηλεκτρικής δραστηριότητας. Όπως ο König et al. (1981), τα σφαιρίδια ELF όπως οι ταλαντώσεις 10 Hz-Schumann είναι φαινοτυπικά πολύ παρόμοια με τον αυθόρμητο ρυθμό άλφα εντός του ηλεκτροεγκεφαλογράφηματος των ανθρώπων. Οι συγγραφείς προχωρούν ακόμη περισσότερο λέγοντας ότι οι συνθήκες κάτω από τις οποίες συμβαίνουν και τα δύο σήματα είναι επίσης όμοιες. Οι αντηχές του Schumann παρατηρούνται κατά κύριο λόγο κατά τη διάρκεια των ευνοϊκών καιρικών συνθηκών, κατάσταση που αντιστοιχεί στη χαλαρή ψυχική κατάσταση που συνδέεται με την παρουσία των άλφα κυμάτων στο ΗΕΓ. Παρόλο που αυτή η σύγκριση φαίνεται προσχεδιασμένη, υπάρχουν και άλλα ευρήματα που θα μπορούσαν να υποστηρίξουν την ιδέα ότι οι αντηχές του Schumann δρουν ως γενικοί

γεννήτορες ρυθμού. Ο Wever (1968) εξέθεσε τα άτομα που παρέμειναν σε θωρακισμένη υπόγεια δεξαμενή για τουλάχιστον μία εβδομάδα έως 10 Hz τετραγωνικών παλμών με ένταση ηλεκτρικού πεδίου 2,5 V / m, η οποία θα πρέπει να μοιάζει με σφαίρες ELF. Σε σύγκριση με μια περίοδο ελέγχου χωρίς διέγερση, ο ρυθμός της θερμοκρασίας του κίρκαδιανού σώματος ήταν σημαντικά μικρότερος κάτω από την κατάσταση του πεδίου. Ο Wever (1968) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι τα σφαιρίδια ELF θα μπορούσαν να λειτουργήσουν ως βηματοδότης που σταθεροποιεί τους κίρκαδικούς φυσιολογικούς ρυθμούς.

Τα σφαιρίδια VLF από την άλλη πλευρά θα μπορούσαν να έχουν διαφορετικό βιολογικό νόημα, καθώς το περιστατικό τους είναι πιο ακανόνιστο και δείχνει τη δραστηριότητα της καταιγίδας σε πιο κοντινή απόσταση. Ένας αυξημένος ρυθμός αυτού του τύπου σήματος παρέχει πληροφορίες ότι μέσα στην επόμενη μέρα ή μέσα στις επόμενες ώρες ο καιρός θα αλλάξει. Ανακαλύπτοντας και πάλι μια εξελικτική άποψη, μπορεί να θεωρηθεί ότι σε προηγούμενες εποχές αυτές οι πληροφορίες ήταν κρίσιμης σημασίας για την επιβίωση. Η αναγνώριση των σφαιριδίων ως προειδοποιητικό ερέθισμα για τις καταιγίδες θα μπορούσε να έχει επιτρέψει την πρόβλεψη και στη συνέχεια να αναζητήσει καταφύγιο από επικίνδυνες καιρικές συνθήκες.

Ακολουθώντας αυτή την υπόθεση, τα σφαιρίδια θα μπορούσαν να έχουν διπλή βιολογική σημασία. Τα σφαιρίδια ELF, τα οποία υποδεικνύουν τη δραστηριότητα της παγκόσμιας καταιγίδας, έχουν σταθεροποιητική επίδραση στους φυσιολογικούς ρυθμούς, ενώ οι σφαίρες VLF προκαλούν καταπληκτικές ή προπαρασκευαστικές αντιδράσεις. Δεν είναι ακόμα σαφές εάν οι παρατηρούμενες ηλεκτροκορτικές αλλαγές υπό την επίδραση των σφαιρικών φωνών VLF μπορούν να θεωρηθούν ως τέτοια απόκριση.

Ωστόσο, οι προσωρινές βελτιώσεις της ισχύος άλφα έχουν συσχετιστεί με καταστάσεις συναισθηματικής δυσφορίας και με προετοιμασία μορφοτροπικών ενεργειών. Παρόλο που τα περιγραφόμενα μοντέλα και προσεγγίσεις που προσπαθούν να εξηγήσουν τις βιολογικές μεταβολές που προκαλούνται από τις σφαίρες είναι εύλογες, είναι πολύ μη ειδικές όσον αφορά τους υποκείμενους μηχανισμούς για μια τέτοια επιρροή. Προκειμένου να ληφθούν περισσότερες πληροφορίες σχετικά με αυτό το σημείο, είναι ενδιαφέρον να εξετάσουμε τα αποτελέσματα που ελήφθησαν μέσω *in vitro* μελετών που αναλύουν τις βιολογικές επιδράσεις των πεδίων των παλμών ELF και της ELF. Τα ευρήματα αυτών των

ερευνών δείχνουν ότι οι μηχανισμοί κυτταρικής μεμβράνης και ιοντικού ελέγχου ως διασυνδέσεις για τη μετάδοση ηλεκτρομαγνητικών σημάτων.

Εδώ αποδείχθηκε ότι τέτοια πεδία είναι ικανά να επηρεάζουν ροές ιόντων ασβεστίου διαμέσου κυτταρικών μεμβρανών. Και πάλι, οι παρατηρούμενες μεταβολές ήταν πιο έντονες όταν οι εφαρμοζόμενες συχνότητες ήταν στην περιοχή EEG (5-20 Hz).

Προκειμένου να εξηγηθούν οι επαγόμενες κινήσεις ιόντων υπό την επίδραση αδύναμων μαγνητικών πεδίων στην περιοχή χαμηλών συχνοτήτων, που δεν μπορούν να ανιχνευθούν με θερμικές επιδράσεις ή την επαγωγή βιολογικά αποτελεσματικών ρευμάτων, ένα μοντέλο όπως το μοντέλο συντονισμού κυκλοτρονίων μπορεί να βοηθήσει στην κατανόηση των παρατηρούμενων αποτελεσμάτων. Αυτή η προσέγγιση δηλώνει ότι ένα μαγνητικό πεδίο ELF μπορεί να προκαλέσει μια κίνηση ιόντων όταν η συχνότητά του αντιστοιχεί στη συχνότητα συντονισμού του ιόντος. Υπό την παρουσία ενός στατικού μαγνητικού πεδίου με πλάτος παρόμοιο με εκείνο του γεωμαγνητικού πεδίου ($\gg 50 \text{ m T}$), οι συχνότητες συντονισμού των φυσιολογικώς σημαντικών ιόντων όπως Na^+ , K^+ , Mg^{++} και Ca^{++} βρίσκονται στην περιοχή συχνότητας ELF. Δεδομένου ότι οι διεργασίες ιοντοανταλλαγής μέσω κυτταρικών μεμβρανών παίζουν σημαντικό ρόλο στη μετάδοση σήματος στο κεντρικό νευρικό σύστημα, αυτές οι παρατηρήσεις θα μπορούσαν επίσης να είναι χρήσιμες για την κατανόηση των παρατηρούμενων ηλεκτροκορμικών φαινομένων σφαίρας.

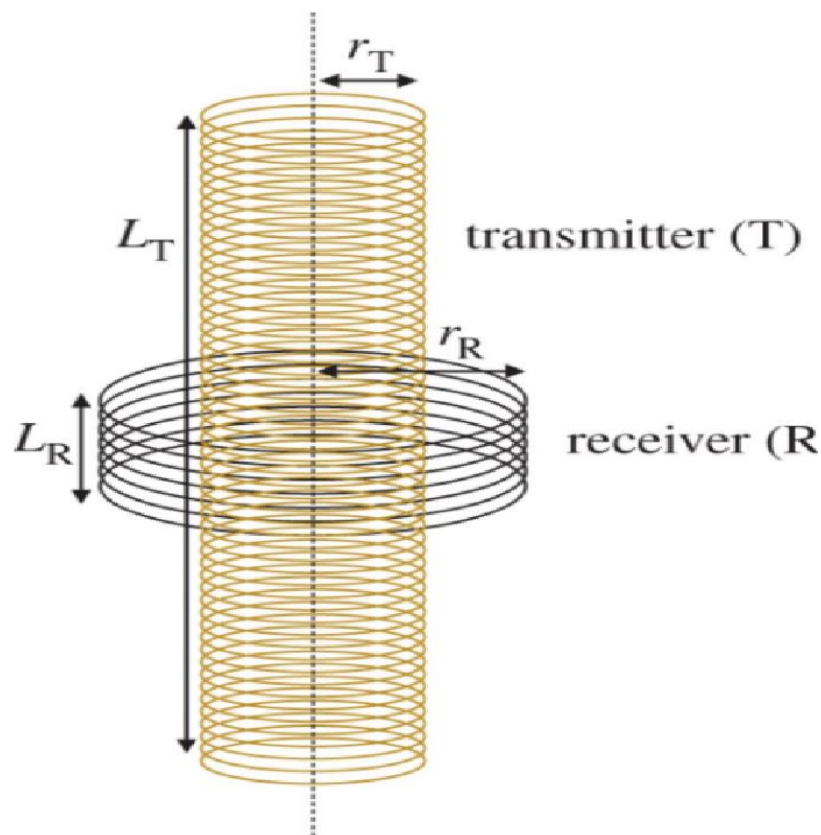
Παρ'όλα αυτά, πολλά ερωτήματα παραμένουν αναπάντητα, π.χ. το ερώτημα σχετικά με τα συστατικά σήματα των σφαιρικών που κρατούν τις βιολογικές πληροφορίες. Εκτός από τον ρυθμό επανάληψης παλμών που μπορεί να επηρεάσει τις φυσιολογικές διεργασίες, άλλα χαρακτηριστικά σήματος όπως η κυματομορφή, το πλάτος, η συχνότητα και η διάρκεια της έκθεσης είναι δυνατοί μεσολαβητές των βιολογικών επιπτώσεων. Επιπλέον, πρέπει να αναπτυχθούν μοντέλα που μπορούν να εξηγήσουν γιατί ορισμένα θέματα είναι πιο ευαίσθητα σε σφαιρίδια VLF από άλλα. Μέχρι τώρα δεν μπορούμε να πούμε εάν η παρατεταμένη αύξηση της ισχύος άλφα που εμφανίζεται από συναισθηματικά και σωματικά ασταθή άτομα είναι ένα συστατικό ή μια αρχική φάση που οδηγεί σε καταγγελίες ευαισθησίας έναντι καιρού, καθώς η διέγερση δεν προκάλεσε άμεσες αλλαγές στην ευημερία των υποκειμένων. Παρ'όλα αυτά, τα αποτελέσματα υποδηλώνουν πιθανή σωματική βάση για την ευαισθησία στις καιρικές συνθήκες, η οποία δεν θα πρέπει πλέον να ενταχθεί στην επικεφαλίδα της υποχονδρίας.

Συνοπτικά, τα ευρήματα βιολογικώς προσανατολισμένων διερευνήσεων σφαιριδίων υποδηλώνουν ότι ο ανθρώπινος οργανισμός είναι πιο ευαίσθητος έναντι αδύναμων μαγνητικών επιδράσεων στην περιοχή χαμηλών συχνοτήτων από ό,τι είχε προηγουμένως υποτεθεί. Αυτό ενθαρρύνει περαιτέρω έρευνα στο πεδίο, προκειμένου να προσδιοριστεί η έκταση των επαγωγίμων βιολογικών επιπτώσεων καθώς και των βασικών μηχανισμών τους.

4.ΔΕΚΤΕΣ ΧΑΜΗΛΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ (LF)

4.1 Θεωρητικό υπόβαθρο

Η περίπτωση της ΗΜ. επαγωγής αναφέρεται μερικές φορές ως επαγωγή μετασχηματιστή. Η διάταξη αποτελείται από ομοαξονικά πηνία διατεταγμένα ομόκεντρα με τον πομπό (T) που δίνεται από το εσωτερικό πηνίο και τον δέκτη (R) από το εξωτερικό όπως απεικονίζεται στην εικόνα 4.1.



Εικόνα 4.1:Ομοαξονικόπηνίο.
(Smith, 2016)

Ο νόμος του Faraday συνδέει την επαγόμενη emf, e , σε ένα κλειστό κύκλωμα με τον ρυθμό μεταβολής της μαγνητικής ροής μέσω αυτού του κυκλώματος. Αυτό γενικά δίνεται από τον εξής τύπο : $e = \frac{d\phi}{dt}$ όπου ϕ είναι η μαγνητική ροή . Για τη διάταξη της εικόνας 4.1, το πηνίο του πομπού τροφοδοτείται με ένα εναλλασσόμενο ρεύμα, $I = I_0 \sin \omega t$, όπου I_0 είναι το ρεύμα κορυφής και ω είναι η ακτινική συχνότητα που δίνεται από, $\omega = 2\pi f$. Η

ομαγνητική ροή μέσω του δέκτη ακολουθεί το ρεύμα έτσι ώστε $\Phi = \Phi_0 \sin 2\pi ft$, και η επαγόμενη emf στον δέκτη δίνεται από τον τύπο:

$$e_R = -\frac{d\Phi}{dt} = -\Phi_0 2\pi f \cos(2\pi ft) \quad (\text{εξ. 4.1})$$

όπου ϵ_0 = διαπερατότητα του ελεύθερου χώρου, c = ταχύτητα φωτός και n_T είναι η πυκνότητα στροφής του πομπού.

Μια πιο γενική μέθοδος για τον υπολογισμό επαγόμενου emf μεταξύ κλειστών κυκλωμάτων μπορεί να ληφθεί από τον τύπο του Neumann. Υποθέτοντας ότι η πυκνότητα της μαγνητικής ροής είναι ανάλογη προς το ρεύμα (νόμος Biot-Savart) και εκφράζοντας τη ροή ως προς το δυναμικό του φορέα (A), τότε για τους κλειστούς βρόχους T και R με τα στοιχεία dl_T , dl_R σε απόσταση r . Επειδή $\Phi_R = MRTIT$, όπου $MRT = MTR$ που είναι η αμοιβαία επαγωγή των δύο βρόχων, τότε ο τύπος Neumann δίνεται από τον τύπο:

$$M_{RT} = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint \oint \left(\frac{1}{r} \right) dl_T \cdot dl_R \quad (\text{εξ. 4.2})$$

Η αμοιβαία επαγωγή μεταξύ των δύο κλειστών κυκλωμάτων είναι μια γεωμετρική ποσότητα που σχετίζεται με το μέγεθος, το σχήμα, τις σχετικές θέσεις των δύο βρόχων και είναι ανεξάρτητη από το κύκλωμα που λειτουργεί είτε ως πομπός είτε ως δέκτης. Επαναπροσδιορίζοντας το νόμο του Faraday λαμβάνοντας υπόψη την αμοιβαία επαγωγή (M), το εναλλασσόμενο ρεύμα πομπού (I) και τη σχετική μεταβαλλόμενη μαγνητική ροή, η επαγόμενη emf στον δέκτη δίνεται από τον τύπο:

$$e_R = -\frac{d\Phi}{dt} = -M \frac{dI}{dt} \quad (\text{εξ. 4.3})$$

Υποθέτοντας, όπως και προηγουμένως, ότι ο δέκτης τυλίγεται στενά στον πομπό έτσι ώστε $r_R - r_T = 0$. Στη συνέχεια, σημειώνοντας ότι, το $M = \mu_0 \pi r_T^2 \left(\frac{n_T}{l_T} \right)$ και $I = I_0 \sin \omega t$ και συνοδεύεται, με τον αριθμό των στροφών του δέκτη να δρα ως πολλαπλασιαστικός παράγοντας. Η επαγόμενη από την κορυφή emf στον δέκτη δίνεται από τον τύπο:

$$(e_R)_0 = -\frac{2\pi^2 r_T^2 n_T N_R I_0 f}{\epsilon_0 c^2} \quad (\text{εξ. 4.4})$$

Μια συγκεκριμένη λύση για ομόκεντρα ομοαξονικά πηνία διαφορετικών ακτινών δίνεται στην παραπομπή από τον τύπο:

$$\begin{aligned}
M &= 0,004\pi^2 r_T^2 n_T N_R (B_1 r_1 - B_2 r_2) \text{ όπου} \\
r_1 &= \sqrt{r_R^2 + \left(\frac{1}{4}\right) (l_T + l_R)^2} \text{ και} \\
r_2 &= \sqrt{r_R^2 + \left(\frac{1}{4}\right) (l_T + l_R)^2}
\end{aligned}
\tag{εξ. 4.5}$$

Οι λειτουργίες B_1 και B_2 εξαρτώνται από τις παραμέτρους, $P_1^2 = \frac{r^2 R}{r_1^2}$, $P_2^2 = \frac{r^2 R}{r_2^2}$, $a = \frac{r_T}{r_R}$ και μπορούν να ληφθούν από τους πίνακες αναφοράς.

Το δυναμικό του φορέα έξω από ένα μακρύ σωληνοειδές παράγεται ως $A = \frac{\Phi}{2\pi r}$, όπου Φ είναι η ολική μαγνητική ροή μέσα στο πηνίο του πομπού. Το ηλεκτρικό πεδίο εκτός του πομπού είναι τότε $-\frac{dA}{dt} = -\left(\frac{1}{2\pi r}\right) \left(\frac{d\Phi}{dt}\right)$. Η εξίσωση $\Phi = LI = \mu_0 n I \pi r^2$, όπου L είναι η επαγωγή ανά μονάδα μήκους ενός άπειρου πηνίου πολλαπλών στροφών και n είναι ο αριθμός στροφών ανά μονάδα μήκους, τότε για έναν μόνο βρόχο ακτίνας r_R που περιβάλλει τον πομπό ενσωματώνοντας γύρω από έναν ενιαίο βρόχο και συμπεριλαμβανοντας ένα συντελεστή πολλαπλασιασμού για τον υπολογισμό των περιστροφών NR σύμφωνα με τον τύπο:

$$(e_R)_0 = \oint E \cdot dl = 2\pi r_T E = -\frac{2\pi^2 r_T^2 n_T N_R I_0 f}{\epsilon_0 c^2} \tag{εξ. 4.6}$$

4.2 Εφαρμογές-Παραδείγματα

Η LF χρησιμοποιείται καθημερινά σε διάφορους τομείς. Πιο σημαντικοί από αυτούς είναι:

Τυπικά σήματα χρόνου

Στην Ευρώπη και την Ιαπωνία, πολλές καταναλωτικές συσκευές χαμηλού κόστους από τα τέλη της δεκαετίας του 1980 περιείχαν ραδιοφωνικά ρολόγια με δέκτη LF για αυτά τα σήματα. Δεδομένου ότι αυτές οι συχνότητες διαδίδονται μόνο με το κύμα εδάφους, η ακρίβεια των σημάτων χρόνου δεν επηρεάζεται από διαφορετικές διαδρομές διάδοσης μεταξύ του πομπού, της ιονόσφαιρας και του δέκτη. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, τέτοιες συσκευές έγιναν εφικτές για τη μαζική αγορά μόνο μετά την αύξηση της ισχύος του WWVB το 1997 και το 1999.

Στρατός

Τα ραδιοσήματα κάτω των 50 kHz είναι ικανά να διεισδύσουν στα βάθη των ωκεανών σε περίπου 200 μέτρα, όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος κύματος, τόσο πιο βαθιά. Οι Βρετανοί,

οι Γερμανοί, οι Ινδοί, οι Ρώσοι, οι Σουηδοί, οι Ηνωμένες Πολιτείες και ενδεχομένως άλλοι ναυτικοί επικοινωνούν με τα υποβρύχια σε αυτές τις συχνότητες.

Επιπλέον, τα πυρηνικά υποβρύχια του βασιλικού ναυτικού που φέρουν βαλλιστικούς πυραύλους υποτίθεται ότι τελούν υπό εντολή να παρακολουθούν τη μετάδοση του BBC Radio 4 σε 198 kHz σε νερά κοντά στο Ηνωμένο Βασίλειο. Φημολογείται ότι πρόκειται να κατανοήσουν μια ξαφνική διακοπή της μετάδοσης, ιδίως του πρωινού ειδησεογραφικού προγράμματος. Σήμερα, ως ένδειξη ότι το Ηνωμένο Βασίλειο είναι υπό επίθεση, και στη συνέχεια οι σφραγισμένες εντολές τους θα τεθούν σε ισχύ.

Στις ΗΠΑ, το δίκτυο έκτακτης ανάγκης Ground Wave ή η GWEN λειτούργησε μεταξύ 150 και 175 kHz, μέχρι να αντικατασταθεί από δορυφορικά συστήματα επικοινωνιών το 1999. Το GWEN ήταν ένα χερσαίο στρατιωτικό σύστημα ραδιοεπικοινωνιών που θα μπορούσε να επιβιώσει και να συνεχίσει να λειτουργεί ακόμη και στην περίπτωση πυρηνικής επίθεσης.

Πειραματικό και ερασιτεχνικό

Η Παγκόσμια Διάσκεψη Ραδιοεπικοινωνιών του 2007 (WRC-07) έκανε την συχνότητα μια παγκόσμια ραδιοφωνική εκπομπή. Μια διεθνής κατανομή 2.1 kHz, η ζώνη των 2200 μέτρων (135,7 kHz έως 137,8 kHz), διατίθεται σε ερασιτεχνικούς ραδιοηλεκτρονικούς φορείς σε διάφορες χώρες της Ευρώπης, τη Νέα Ζηλανδία, τον Καναδά και τις υπερπόντιες περιοχές της Γαλλίας.

Η παγκόσμια απόσταση ρεκόρ για μια αμφίδρομη επαφή είναι πάνω από 10.000 χιλιόμετρα από κοντά στο Βλαδιβοστόκ στη Νέα Ζηλανδία. Εκτός από τον συμβατικό κώδικα Morse, πολλοί χειριστές χρησιμοποιούν πολύ αργούς υπολογιστικούς κώδικες Morse (QRSS) ή εξειδικευμένους τρόπους ψηφιακής επικοινωνίας.

Το Ηνωμένο Βασίλειο διέθεσε ένα φάσμα 2,8 kHz από 71,6 kHz σε 74,4 kHz, τον Απρίλιο του 1996, σε ερασιτέχνες του Ηνωμένου Βασιλείου που υπέβαλαν αίτηση για μια ειδοποίηση παραλλαγής για να χρησιμοποιήσουν τη ζώνη σε μη παρεμβατική βάση με μέγιστη ισχύ εξόδου 1 Watt ERP. Αυτό αποκόπηκε στις 30 Ιουνίου 2003 μετά από μια σειρά επεκτάσεων υπέρ της ευρωπαϊκής ζώνης των 136 kHz. Ο πολύ αργός κώδικας Morse από το G3AQC στο Ηνωμένο Βασίλειο δέχθηκε 3.275 μίλια Μακριά από τον

Ατλαντικό Ωκεανό από την W1TAG στις ΗΠΑ στις 21-22 Νοεμβρίου 2001 στις 72.401 kHz.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες υπάρχει εξαίρεση σύμφωνα με τους κανονισμούς της FCC, που επιτρέπουν εκπομπές χωρίς άδεια στην περιοχή συχνοτήτων από 160 έως 190 kHz. Οι ραδιοφωνικοί χορευτές Longwave αναφέρονται ως ζώνη 'LowFER' οι πειραματιστές και οι πομποί τους ονομάζονται 'LowFERs'. Αυτή η περιοχή συχνοτήτων μεταξύ 160 kHz και 190 kHz αναφέρεται επίσης ως ζώνη μετρητών 1750. Απαιτήσεις από 47CFR15.217 και 47CFR15.206 περιλαμβάνουν:

1. Η συνολική ισχύς εισόδου στην τελική βαθμίδα ραδιοσυχνοτήτων (χωρίς την ισχύ του νήματος ή του θερμαντήρα) δεν πρέπει να υπερβαίνει το ένα ρεύμα.
2. Το συνολικό μήκος της γραμμής μεταφοράς, της κεραίας και του αγωγού γείωσης (εάν χρησιμοποιείται) δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 15 μέτρα.
3. Όλες οι εκπομπές κάτω των 160 kHz ή άνω των 190 kHz πρέπει να εξασθενίζουν τουλάχιστον 20 dB κάτω από το επίπεδο του μη διαμορφωμένου φορέα.
4. Ως εναλλακτική λύση σε αυτές τις απαιτήσεις, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ισχύς πεδίου $2400/F(\text{kHz})\mu\text{V/m}$ (μετρούμενη σε απόσταση 300 μέτρων). Σε όλες τις περιπτώσεις, η λειτουργία δεν μπορεί να προκαλέσει επιβλαβείς παρεμβολές σε υπηρεσίες με άδεια χρήσης.
5. Πολλοί πειραματιστές σε αυτή τη ζώνη είναι ραδιοερασιτέχνες.

Μετεωρολογικές πληροφορίες εκπομπής

Μία τακτική υπηρεσία που μεταδίδει πληροφορίες θαλάσσιας μετεωρολογίας RTTY στον κώδικα SYNOP στην LF είναι η Γερμανική Μετεωρολογική Υπηρεσία. Το DWD χρησιμοποιεί σταθμό DDH47 σε 147,3 kHz χρησιμοποιώντας πρότυπο αλφάβητο ITA-2 με ταχύτητα μετάδοσης 50 baud και διαμόρφωση FSK με μετατόπιση 85 Hz.

Σήματα ραδιοπλοήγησης

Σε μέρη του κόσμου όπου δεν υπάρχει υπηρεσία μετάδοσης μεγάλης συχνότητας, οι μη κατευθυντήριοι ραδιοφάροι που χρησιμοποιούνται για αεροναυτιλία λειτουργούν σε 190-300 kHz (και πέρα από τη ζώνη MW). Στην Ευρώπη, την Ασία και την Αφρική, η κατανομή NDB ξεκινά στις 283,5 kHz. Το σύστημα ραδιοπλοήγησης LORAN-C λειτουργεί σε 100 kHz. Στο παρελθόν, το σύστημα πλοήγησης Decca λειτουργεί μεταξύ 70 kHz και 129 kHz. Οι τελευταίες αλυσίδες Decca έκλεισαν το 2000. Οι διαφορετικοί πομποί

τηλεμετρίας GPS λειτουργούν μεταξύ 283,5 και 325 kHz. Το εμπορικό σύστημα ραδιοπλοήγησης "Datatrak" λειτουργεί σε διάφορες συχνότητες, ανάλογα με τη χώρα, μεταξύ 120 και 148 kHz.

Ραδιοφωνική μετάδοση

Η εκπομπή AM επιτρέπεται στη ζώνη longwave σε συχνότητες μεταξύ 148,5 και 283,5 kHz στην Ευρώπη και σε μέρη της Ασίας.

Άλλες εφαρμογές

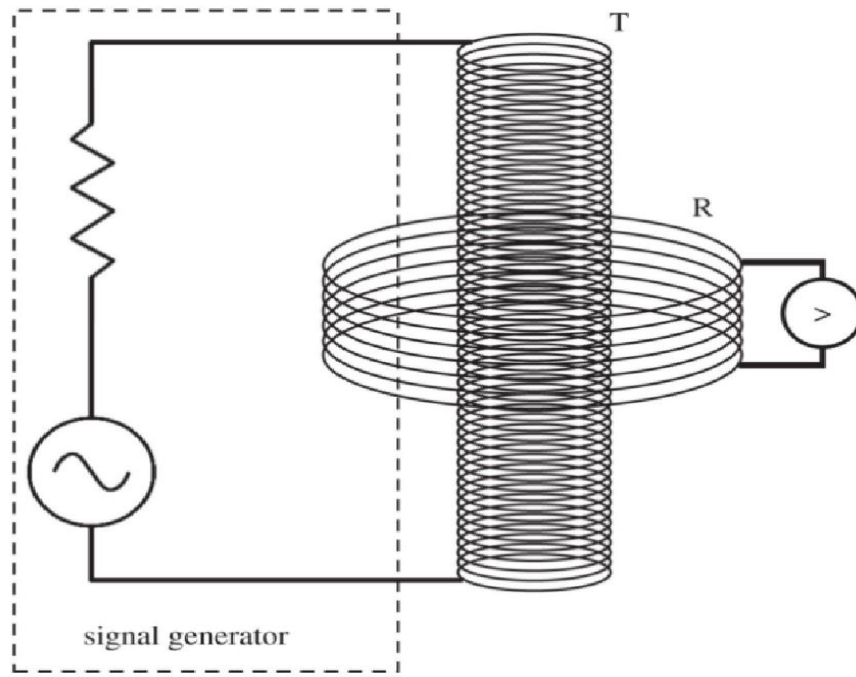
Ορισμένες ετικέτες αναγνώρισης ραδιοσυχνοτήτων (RFID) χρησιμοποιούν LF. Αυτές οι ετικέτες είναι κοινώς γνωστές ως LFIDs ή LowFIDs (Χαμηλή συχνότητα αναγνώρισης). Οι ετικέτες LF RFID είναι κοντά σε συσκευές πεδίου. (Seybold, 2005).

4.3 Αποτελέσματα-Πειράματα

4.3.1 Το πείραμα

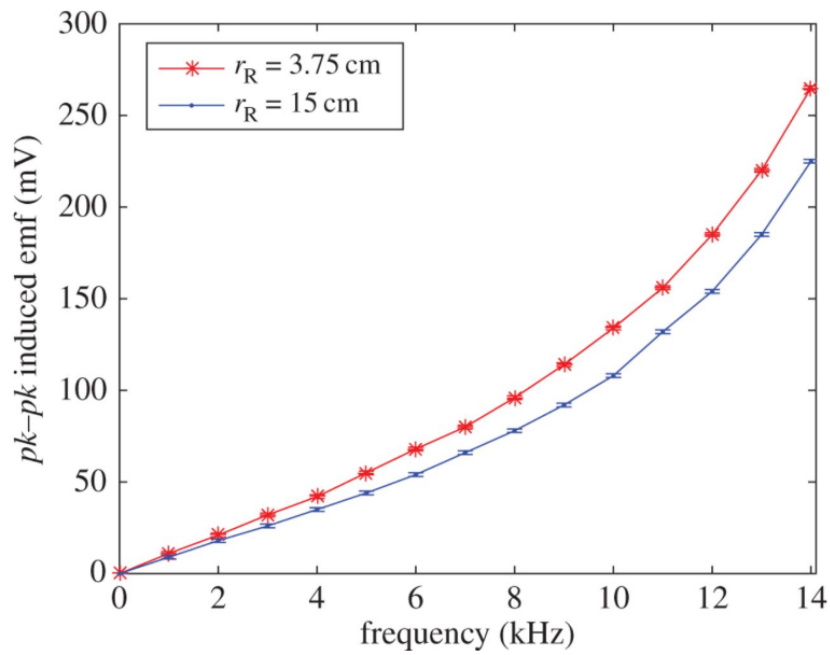
Το πείραμα αναφέρεται στην εξέταση δύο βρόχων μονού κυκλικού πομπού (T) και δέκτη (R). Ο βρόχος του πομπού έχει ακτίνα r_T και διεγείρεται από ένα εναλλασσόμενο ρεύμα μιας δεδομένης συχνότητας f , ενώ ο βρόχος περικυκλώματος δέκτη έχει ακτίνα r_R διαμέσου του οποίου επάγεται ένα emf ($r_R > r_T$).

Χρησιμοποιώντας ένα καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων, ορίζουμε το κέντρο του βρόχου δέκτη ως προέλευση. Εφαρμόζοντας την ισχύουσα νομοθεσία Weber στην περίπτωση αυτή, η δύναμη καθορίζεται μεταξύ ενός στοιχείου γραμμής φορτίου ($= r_T d\theta$) στον πομπό που βρίσκεται στο σημείο M και ενός φορτίου μονάδας που βρίσκεται στον δέκτη στο σημείο N, όπου δίνεται η απόσταση μεταξύ αυτών των σημείων ως $MN = r$. Χρησιμοποιώντας τη φόρμουλα δύναμης του Weber, προσαρμοσμένη σε σχετική ταχύτητα, η δύναμη που επιλύεται κατά μήκος του r δίνεται από την εικόνα 4.2.



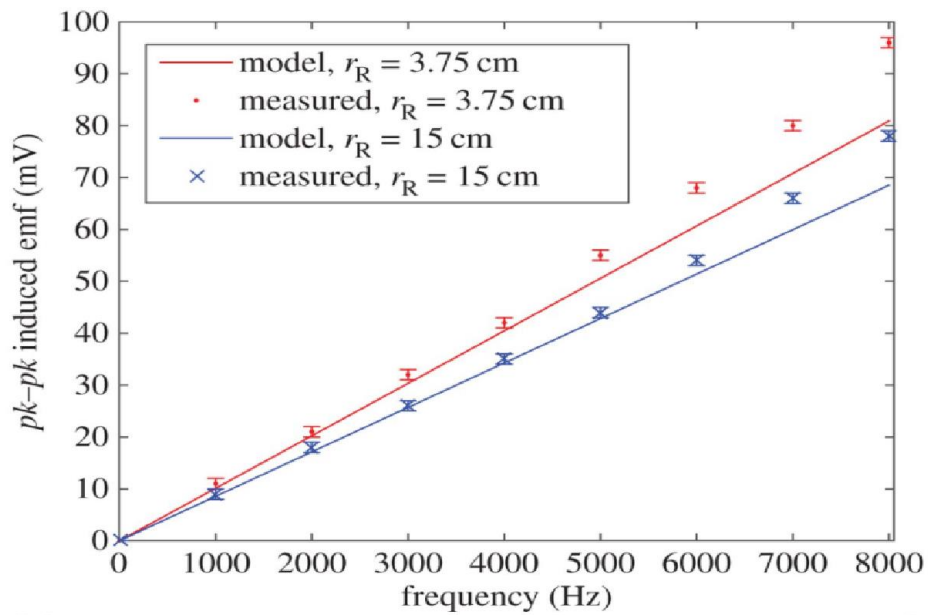
Εικόνα 4.2: Η δύναμη που επιλύεται κατά μήκος του r .
(Smith, 2016)

όπου $qM = n'ArT_\delta\theta e$, είναι ένα στοιχείο φόρτισης στο M , n 'είναι η πυκνότητα ηλεκτρονίων, A είναι η περιοχή της διατομής του σύρματος, e είναι φορτίο ηλεκτρονίων, r ^ είναι ένας φορέας μονάδας κατά μήκος r , ur είναι σχετική ταχύτητα κατά μήκος r και u είναι η σχετική ταχύτητα μεταξύ M και N . Στην περίπτωση αυτή, όπου δεν υπάρχει καθαρή ροή ρεύματος στον δέκτη, η σχετική ταχύτητα μεταξύ M και N δίνεται από την ταχύτητα ολίσθησης ηλεκτρονίων, v , στο M στον πομπό βρόχος. Επομένως, στο (3.1), $u_2 = v_2$. Η σχετική ταχύτητα κατά μήκος r δίνεται ως $ur = \frac{dr}{dt} = v \cos \theta = \frac{vb \sin \theta}{r}$. Και οι δύο όροι u_2 και u_{2r} που εμφανίζονται στο (3.1) περιλαμβάνουν v_2 όρους που μπορούν να αγνοηθούν για μικρά ρεύματα αφήνοντας μόνο τον όρο επιτάχυνσης $r \left(\frac{d^2 r}{dt^2} \right) = r \left(\frac{dur}{dt} \right)$ και r προσδιορίζεται με τριγωνομετρία, $r^2 = r_T^2 + r_R^2 - 2r_T r_R \cos \theta + z^2$. Διαφοροποιώντας το ur και σημειώνοντας ότι $v = r_T \left(\frac{d\theta}{dt} \right)$, αγνοώντας τους όρους v^2 , αποδόσεις $r = \frac{dur}{dt} = r_R \sin \theta \left(\frac{dv}{dt} \right)$. Επειδή $I = n' Ave$, τότε $v = \frac{I}{n' Ae}$ και ως εκ τούτου τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στις εικόνες 4.3, 4.4 και 4.5.



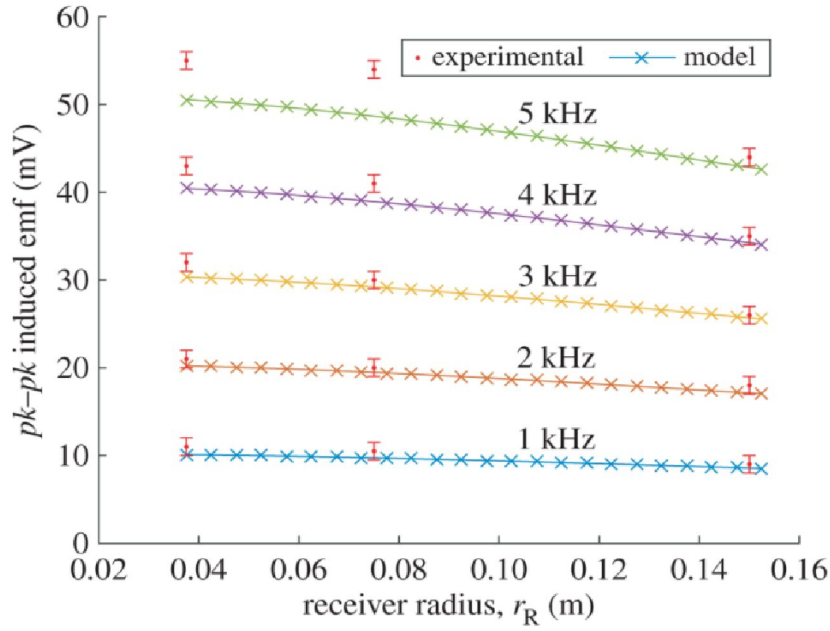
Εικόνα 4.3: Διάγραμμα επαγόμενης απόκρισης emf (pk-pk, mV) έναντι συχνότητας για ακτίνες δέκτη 3,75 και 15 cm.

(Smith, 2016)



Εικόνα 4.4: Διάγραμμα επαγόμενης απόκρισης emf (pk-pk, mV) έναντι συχνότητας στην περιοχή 1-8 kHz σε σύγκριση με τα υπολογισμένα δεδομένα για ακτίνες δέκτη 3,75 και 15 cm.

(Smith, 2016)



Εικόνα 4.5: Διάγραμμα υπολογισμένης επαγόμενης απόκρισης emf (pk-pk, mV) κατά την ακτίνα του δέκτη για μια σειρά συχνοτήτων συμπληρωμένη με μετρήσεις για ακτίνες δέκτη 3,75, 7 και 15 cm για $f \leq 5$ kHz. (Smith, 2016)

Για τον υπολογισμό του επαγόμενου emf σε ένα πεπερασμένο πηνίο πολλαπλών στροφών, η αρχή της υπέρθεσης εφαρμόζεται στις τρέχουσες συνεισφορές από κάθε στροφή κάθε σπείρας. Η ολοκλήραν από το (3.5) υπολογίζεται για ένα εύρος z-τιμών από κάθε στροφή. Οι τιμές z σχετίζονται με την κατακόρυφη απόσταση μεταξύ των στροφών που δίδονται ως προς τη διάμετρο του σύρματος, d. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας την τυπική αριθμητική ολοκλήρωση δίνει στον παρακάτω εξίσωση:

$$(e_R)_0 = \frac{2 \pi r_T^2 r_R^2 I_0 f}{\epsilon_0 c^2} \sum \begin{bmatrix} e(-314d) & \cdots & e(335d) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ e(-33d) & \cdots & e(316d) \end{bmatrix} \quad (\text{εξ. 4.7})$$

όπου $r^2 = r_T^2 + r_R^2 - 2r_T r_R \cos\theta + z^2$. Ο συντελεστής 2 λαμβάνει υπόψη τις συνεισφορές και από τις δύο στρώσεις του πομπού (δηλαδή το πηνίο πομπού διπλά τυλίγεται). Η μήτρα έχει σειρές 20 (NR) με 650 (NT / 2) στήλες που αντιπροσωπεύουν όλες τις συμβολές μεμονωμένων στροφών, όπου η τιμή z είναι ίση με μηδέν για την περίπτωση που ο μεμονωμένος πομπός και οι σπείρες του πηνίου δέκτη ευθυγραμμίζονται άμεσα. Το άθροισμα στο (3.6) είναι για όλους τους μεμονωμένους όρους της μήτρας. Για παράδειγμα, η άθροιση της πρώτης γραμμής της μήτρας, δίνει την επαγόμενη τάση στην πρώτη στροφή του δέκτη από όλες τις 650 μεμονωμένες στροφές πομπού.

Για να επαληθευτεί η παραπάνω προσέγγιση, πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες πειραματικές μετρήσεις. Η πειραματική διάταξη αποτελείται από ένα πεπερασμένο ομοαξονικό πηνίο εσωτερικού πομπού και ένα εξωτερικό πηνίο δέκτη. Το πηνίο μεταδότη (εσωτερικού) μήκους $L_T = 0,5$ m αποτελείται από 1300 περιστροφές διπλά τυλιγμένες με μονό πυρήνα εμαγιέ σύρμα διαμέτρου 0,7 mm και πυκνότητα περιέλιξης = 2600 περιστροφές ανά μέτρο σε έναν ακροδέκτη με ακτίνα, r_T περίπου 0,0292 m. Χρησιμοποιήθηκαν τρεις πηνία δέκτη με την ίδια πυκνότητα στρώσης και αριθμό στρώσεων ($N_R = 20$) αλλά με διαφορετικές ακτίνες, r_R 0,0375, 0,075 και 0,15 m.

Το πηνίο του πομπού συνδέθηκε με μία γεννήτρια ψηφιακού σήματος παρέχοντας ένα ημιτονοειδές ρεύμα πομπού 3 mA rms, μετρούμενο με ένα μετρητή Keithley 5,5 ψηφίων, σε όλη την περιοχή συχνοτήτων 0-14 kHz. Η επαγόμενη από δέκτη τάση μετρήθηκε ταυτόχρονα με ψηφιακό παλμογράφο (Tektronix, USA). Η βασική σχηματική απεικόνιση του κυκλώματος φαίνεται στο σχήμα 3. Για να βελτιωθεί το SNR, το πηνίο του δέκτη διαχωρίστηκε από εξωτερικές παρεμβολές γύρω από την περιφέρεια του χρησιμοποιώντας μεταλλική θωράκιση μ (θερμικά επεξεργασμένη, πάχους 0,35). Όλοι οι υπολογισμοί υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας το Matlab 2014a.

4.3.2 Τα αποτελέσματα

Τα πειραματικά αποτελέσματα συνοψίζονται στις εικόνες 4.3, 4.4 και 4.5. Η εικόνα 4.3 δείχνει τον επαγόμενο δέκτη emf (κορυφή-προς-κορυφή) σχεδιασμένο σε σχέση με τη συχνότητα για δύο διαφορετικές ακτίνες σπείρας δέκτη 3,75 και 15 cm. Το μικρότερο πηνίο δέκτη είναι λιγότερο από περίπου 1 cm από την εξωτερική επιφάνεια του πηνίου του πομπού, ενώ το μεγαλύτερο πηνίο δέκτη είναι περίπου 12 cm από το πηνίο του πομπού με διάμετρο περίπου πέντε φορές μεγαλύτερη από το πηνίο πομπού. Και τα δύο πηνία ακολουθούν την ίδια τάση με το επαγόμενο emf μεγαλύτερο για το μικρότερο πηνίο ακτινών (δηλαδή πιο κοντά στον πομπό) από το μεγαλύτερο για κάθε μέτρηση. Αρχικά, η τάση της επαγόμενης emf έναντι της συχνότητας ακολουθεί μια γραμμική απόκριση. Αυτό φαίνεται σαφώς στην εικόνα 4.4 το οποίο περιλαμβάνει επίσης τα μοντέλα που υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την εξίσωση 4.7 με ισοδύναμες παράμετροι μοντέλου. Στην εικόνα 4.5, η υπολογισθείσα τάση μοντέλου έναντι των ακτίνων του δέκτη

συγκρίνεται με τα μετρούμενα αποτελέσματα για τις τρεις διαφορετικές ακτίνες πηγίου πειραματικού δέκτη ($r = 0.0375, 0.075, 0.15 \text{ m}$) σε διάφορες συχνότητες. (Ray, 2016)

4.4 Προκλήσεις και πλεονεκτήματα της LF στην επικοινωνία

Η δυνατότητα χαμηλής συχνότητας είναι να εκπέμπει ένα σήμα σε μεγάλη απόσταση και κάτω από την επιφάνεια. Για ένα επίπεδο κύμα σε ένα αγωγίμο μέσο, όπως ο αέρας, η ισχύς του σήματος εξασθενεί εκθετικά με τη συχνότητα: όσο χαμηλότερη είναι η συχνότητα τόσο μεγαλύτερη είναι η εμβέλεια επικοινωνιών. Τα μεγαλύτερα συστήματα VLF έχουν σχεδιαστεί για να επικοινωνούν με τη σειρά των 10 megameters. Το VLF / LF διαδίδεται επίσης καλά μέσω θαλάσσιου νερού.

Τα VLF και LF έχουν εφαρμογές πέρα από τις επικοινωνίες. Το VLF έχει χρησιμοποιηθεί για τη διάδοση σε μεγάλη απόσταση ακριβών προτύπων συχνότητας και χρόνου για πολλά χρόνια. Από το 1960, το Εθνικό Γραφείο Προτύπων διαβίβαζε τις συνήθεις πληροφορίες χρόνου και συχνότητας σε 20 KHz από την περιοχή τους στο Κολοράντο. Το σήμα έχει ληφθεί τόσο μακριά όσο η Νέα Ζηλανδία. Τα VLF και LF χρησιμοποιούνται για τοπική και παγκόσμια πλοήγηση. Το σύστημα πλοήγησης Omega αποτελεί παράδειγμα ενός διεθνούς συστήματος πλοήγησης. Η ικανότητα μετάδοσης χαμηλής συχνότητας στη γη έχει χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια των ετών για την αναζήτηση πετρελαίου και τη χαρτογράφηση υπογείων χαρακτηριστικών. Οι φυσικές υπογραφές χαμηλής συχνότητας έχουν αποδειχθεί πρόδρομοι σεισμών.

Υπάρχει μεγάλη απήχηση στα χαρακτηριστικά διάδοσης των VLF και LF σε μεγάλη απόσταση και υπόγεια, και οι μηχανικοί εκμεταλλεύονται αυτή την οπτικοποίηση για σχεδόν έναν αιώνα. Έχουν ασχοληθεί επίσης με τις προκλήσεις των επικοινωνιών VLF και LF - χαμηλές ταχύτητες δεδομένων, υψηλή ισχύ και μεγάλες κεραίες μετασχηματισμού.

Οι κεραίες VLF είναι μεγάλες με εκείνες για την LF να είναι κάπως μικρότερες. Ωστόσο, λόγω των μεγάλων μηκών κύματος (έως και 30 χιλιομέτρων) στην περιοχή συχνότητας ακόμα και οι δύο κεραίες VLF και LF έχουν μια ακτινική ακτινοβολούμενη τομή με κορυφαία ακτινοειδή φορτία, με χωρητικότητα για να γίνει η κεραία ηλεκτρικά μακρύτερη. Για να φτάσει η απόδοση στο 50% των πύργων μπορεί να κυμαίνεται από

150-300 μέτρα με περιοχές μεγαλύτερες από ένα τετραγωνικό χιλιόμετρο. Επιπλέον, απαιτείται ένα παλινδρομικό αεροπλάνο ή πολύ χαμηλής απώλειας σύρματα για τη μείωση των απωλειών από την τρέχουσα τάξη μέσω της επιφάνειας του εδάφους. Αυτές οι μεγάλες κατασκευές, οι συναφείς μεταφορές ισχύος και οι ενισχυτές χρειάζονται μεγάλη έκταση γης και εκατομμύρια δολάρια για να επιτευχθεί η λειτουργία τους.

Λόγω της πρόκλησης της χαμηλής ταχύτητας δεδομένων, της υψηλής ισχύος και των μεγάλων ακριβών κεραίων, το κόστος ανά bit για τις επικοινωνίες VLF και LF είναι υψηλό. Αλλά ακόμη και σε αυτό το υψηλό κόστος, η ευκαιρία που είναι εγγενής στη διάδοση μεγάλων αποστάσεων και υπόγειων επιφανειών σε VLF και LF, έχει κρατήσει τους μηχανικούς απασχολημένους με στόχο να ξεπεράσουν αυτές τις προκλήσεις από την εποχή του Marconi. (Dougherry, 1992)

4.4.1 Τα τεχνολογικά επιτεύγματα για την εξομάλυνση των προκλήσεων

Η ανάγκη χρήσης των μοναδικών ωφελειών των επικοινωνιών χαμηλής συχνότητας έδωσε την ώθηση να εκμεταλλευτεί και να δημιουργήσει τεχνολογικές προόδους για να ξεπεράσει τις προκλήσεις της.

Σύμφωνα με τις έρευνες διάδοσης η ισχύς σήματος VLF / LF δεν μειώνεται μονοτονικά με την απόσταση από τον πομπό, αλλά δείχνει εναλλασσόμενα μέγιστα και ελάχιστα καθώς η απόσταση αυξάνεται. Η θέση των μεγίστων και ελάτων είναι συνάρτηση του χρόνου, της θέσης και της συχνότητας. Για κάθε δεδομένη διαδρομή διάχυσης, η δύναμη του σήματος αλλάζει με την κατάσταση της ιονόσφαιρας, η οποία με τη σειρά της είναι συνάρτηση της εποχής της μέρας ακόμη και του χρόνου.

Τα ακτινοβολημένα σήματα μετριοούνται για την επικύρωση της απόδοσης και την επικύρωση των προγνωστικών πρόβλεψης διάδοσης. Πριν από μερικά χρόνια οι μηχανικοί δούλεψαν πάνω από τις χαρτογραφικές ταινίες για να βγάλουν λίγα πολύτιμα σημάδια δεδομένων σήματος. Σήμερα, οι δέκτες VLF-LF συγκεντρώνουν δεδομένα παγκοσμίως και παρέχουν μια χιονοστιβάδα δεδομένων στο δίσκο του υπολογιστή. Τώρα η πρόκληση βρίσκεται στην ταχεία εξάλειψη των αμφισβητήσιμων δεδομένων και στην ανάπτυξη αυτόματων ρουτινών επεξεργασίας για το υπόλοιπο.

Ο κύριος θόρυβος ατμοσφαιρικού αέρα σε VLF / LF δημιουργείται από καταιγίδες. Αυτός ο θόρυβος διαδίδεται και επηρεάζεται από την ιονόσφαιρα με τον ίδιο τρόπο όπως το σήμα VLF / LF. Οι μετρήσεις θορύβου εκτελούνται σε όλο τον κόσμο για τη βελτίωση των υφιστάμενων μοντέλων θορύβου. Διεξάγονται έρευνες σχετικά με τη θέση και τη συχνότητα των απεργιών φωτισμού και σχετικά με τα λεπτομερή χαρακτηριστικά του φωτισμού.

Η εξέλιξη στην τεχνολογία του υλικού έχει επίσης συμβάλλει στον περιορισμό των προκλήσεων. Όταν αυξάνεται η ισχύς σε μια τυπική κεραία VLF / LF, το όριο τάσης ενός από τα εξαρτήματα της κεραίας τελικά θα ξεπεραστεί. Σε αυτό το σημείο το συστατικό θα κατευθυνθεί στον κύκλο του φωτός. Αυτή είναι μια ροή ρεύματος μεταξύ του εξαρτήματος και του εδάφους που απορροφά ενέργεια και είναι δυνητικά επιβλαβής για το στοιχείο της κεραίας. Οι πρόοδοι στην τεχνολογία των υλικών έχουν αυξήσει σημαντικά την ικανότητα χειρισμού ισχύος των κεραιών.

Σήμερα, οι μονωτές και οι δακτύλιοι βάσης χρησιμοποιούν συμβατικές πορσελάνες. Η πρακτική της χρήσης πορσελάνινων μονωτήρων που έχουν αναπτυχθεί για τη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας έχει οδηγήσει σε σχέδια τα οποία δεν έχουν επιλεγεί για επικοινωνίες LF και τα οποία απαιτούν μακρύ χρόνο παράδοσης για την κατασκευή. Για να αντιμετωπίσει αυτές τις ελλείψεις, το Ναυπηγείο Πολιτικών Μηχανικών στο λιμάνι Hueneme της Καλιφόρνια έχει αναπτύξει ένα νέο σύνθετο υλικό που ονομάζεται Polymer Concrete. Τα πλεονεκτήματα είναι: η κατασκευή στο εργοτάξιο, εύκαμπτο μέγεθος και σχήμα, χρόνος σκλήρυνσης μικρότερος από μία ημέρα και επισκευή στο εργοτάξιο. Ελέγχονται οι δοκιμές και οι έρευνες για προστατευτικές επικαλύψεις.

Ανάλυση αριθμητικής κεραίας και μοντελοποίηση κλίμακας: Το μεγάλο μέγεθος των κεραιών VLF και LF κάνει το σχεδιασμό από δοκιμή και λάθος απαγορευτικά δαπανηρό: η πολυπλοκότητα των ηλεκτρομαγνητικών εξισώσεων καθιστά τις αναλυτικές προσεγγίσεις απαγορευτικά χρονοβόρες. Δύο μέθοδοι που αναπτύχθηκαν για να βοηθήσουν τους μηχανικούς της κεραίας VLF-LF είναι οι αριθμητικοί κωδικοί ηλεκτρονικών υπολογιστών και φυσικά μοντέλα κλίμακας ορείχαλκου.

Οι περισσότεροι από τους αριθμητικούς κώδικες που αναπτύχθηκαν σε μοντέλα κεραίας σχεδιάστηκαν αρχικά για εφαρμογές υψηλότερης συχνότητας. Η εφαρμογή αυτών των κωδικών σε VLF δημιουργεί προβλήματα. Για παράδειγμα, τιμές που είναι πολύ μικρές αλλά σημαντικές σε VLF αντιμετωπίζονται ως αποδεκτό σφάλμα με κώδικα HF. Νέες

τεχνολογίες αναπτύσσονται για εφαρμογές VLF. Ορισμένες από τις απλούστερες κεραίες LF μπορούν να μοντελοποιηθούν με τη χρήση υπολογιστή. Οι συνεχιζόμενες έρευνες σχετικά με τη χρήση νέων τεχνικών υπόσχονται μεγαλύτερη ακρίβεια και αυξημένη ταχύτητα μοντελοποίησης.

Τα μοντέλα κλίμακας ορείχαλκου των κεραιών VLF και LF έχουν προηγμένες τεχνικές που αναπτύχθηκαν αρχικά για το σχεδιασμό κεραίας πλοίου HF. Οι κεραίες VLF έχουν μοντελοποιηθεί σε κλίμακες τόσο μικρές όσο 1800: 1. Τα σύρματα που χρησιμοποιούνται σε αυτά τα μοντέλα είναι λιγότερα από τη διάμετρο μιας ανθρώπινης τρίχας. Αυτά τα μοντέλα έχουν αποδειχθεί εκπληκτικά, και εκτός από τη χρησιμότητά τους ως ηλεκτρικό μοντέλο, παρέχουν επίσης οπτική αναφορά για τους μηχανικούς και το προσωπικό συντήρησης.

Η αξιολόγηση της απόδοσης των επικοινωνιών: Καθώς τα συστήματα επικοινωνιών VLF / LF έγιναν πιο σημαντικά και πιο εκτεταμένα, έγινε αναγκαία η ανάπτυξη εργαλείων αξιολόγησης και ανάπτυξης συστημάτων. Τρία από αυτά τα εργαλεία είναι ο Pseudo Atmospheric Noise Generator (PANG), ο προσομοιωτής πραγματικού χρόνου καναλιού (RTCS) και ο σταθμός εργασίας πρόβλεψης κάλυψης (CPWS).

Το PANG είναι μια προσομοιωμένη πηγή ατμοσφαιρικού θορύβου. Έχει γίνει ένα διεθνές πρότυπο για την αξιολόγηση της απόδοσης των δεκτών VLF / LF. Το PANG παράγει ένα σήμα το οποίο εξομοιώνει τις αιχμές σήματος των πλησιέστερων απεργιών φωτισμού και το γκαουσιανό θόρυβο των απομακρυσμένων καταιγίδων. Οι πρώτες εκδόσεις χρησιμοποίησαν την πραγματική καταγραφή ατμοσφαιρικού θορύβου περιορισμένου μήκους. Τώρα ο θόρυβος προσομοιώνεται από τον έλεγχο του υπολογιστή, ο οποίος είναι πιο ευέλικτος. Η προσομοίωση πραγματικών δυναμικών σειρών θορύβου μέχρι 90 dB εξακολουθεί να αποτελεί πρόκληση.

Το RTCS προσομοιώνει το συνολικό περιβάλλον σήματος. Παίρνει ένα σήμα που μεταδίδεται από έναν εργαστηριακό δέκτη, εξασθενίζει και παραμορφώνει το επιθυμητό σενάριο διάδοσης, προσθέτει ατμοσφαιρικό θόρυβο (PANG) ή άλλες πηγές θορύβου και παρουσιάζει ένα "πραγματικό" σήμα στον εργαστηριακό δέκτη. Από την αναβάθμιση με μηχανικούς διακόπτες σε έλεγχο ηλεκτρονικού υπολογιστή, ο RTCS μπορεί να προσομοιώνει οποιοδήποτε περιβαλλοντικό αποτέλεσμα που μπορεί να περιγραφεί.

Το CPWS προβλέπει την πολλαπλασιασμένη ισχύ σήματος έναντι της απόστασης. Τα επίπεδα σήματος υπολογίζονται ως μεταφορικές λύσεις στον κυματοδηγό ιονόσφαιρας της

γης. Οι υπολογισμοί των κυματοδηγών πρέπει να λαμβάνουν υπόψη την εξέλιξη του προφίλ της ιονόσφαιρας. ο σχεδιασμός των γεωμετρικών πεδίων, ο προσανατολισμός του γεωμαγνητικού πεδίου και η αγωγιμότητα του αστερισμού, συμπεριλαμβάνονται στα μοντέλα ατμοσφαιρικού θορύβου, τα οποία πραγματοποιήθηκαν στον ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσα σε μία νύχτα.

Τεχνικές διαμόρφωσης: Πρώιμη σηματοδότηση που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο διεθνής κώδικας Morse. Οι κουκίδες και οι παύλες ήταν περίοδοι σταθερού εύρους που οριοθετούνται από περιόδους χωρίς σήμα. Ένας ρυθμός μετάδοσης 10-20 λέξεων ανά λεπτό απαιτούσε 14-28 κύκλους κλειδώματος ανά δευτερόλεπτο. Αυτό το απλό δυαδικό σύστημα αντικαταστάθηκε από άλλες τεχνικές διαμόρφωσης.

Οι σύγχρονες μέθοδοι μετάδοσης δυαδικών πληροφοριών είναι το κλειδί αλλαγής συχνότητας (FSK) και το Phase Shift Keying (PSK). Το FSK χρησιμοποιεί δύο διαφορετικές συχνότητες του φορέα για την αποστολή δυαδικών σημάτων. Μία συχνότητα αντιπροσωπεύει το δυαδικό "1" και η άλλη συχνότητα αντιπροσωπεύει το δυαδικό "0". Το PSK χρησιμοποιεί τις δύο αντίθετες φάσεις ενός βασικού ημιτονοειδούς (η κάμερα) για να υποδείξει τις δύο πιθανές καταστάσεις. Το PSK είναι πιο αποτελεσματικό από το FSK αλλά δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για VLF - LF επειδή οι στιγμιαίες φασματικές φάσεις δημιουργούν μεταβατικές τάσεις υψηλής τάσης που είναι το τρέχον σχήμα διαμόρφωσης επιλογής που μπορεί να επιτευχθεί με την ελάχιστη ταχύτητα πηδαλιουχίας kMSK1.

Παρόλο που οι επικοινωνίες με VLF-LF είναι βασικά αξιόπιστες, τα σήματα εξασθενούν και υποφέρουν από την καμπύλη φάσης. Η προστασία σφάλματος χρησιμοποιείται συχνά για να διασφαλιστεί ότι το σήμα που λαμβάνεται είναι αυτό που μετασχηματίστηκε. Τα μετασχηματισμένα ψηφία προστίθενται στο μεταδιδόμενο μήνυμα σύμφωνα με έναν συγκεκριμένο αλγόριθμο. Στο τέλος λήψης, τα πλεονασματικά ψηφία παγιδεύονται και υπολογίζονται εκ νέου χρησιμοποιώντας τον ίδιο αλγόριθμο στο ληφθέν μήνυμα. Αν και οι δύο είναι οι ίδιες, το μήνυμα θεωρείται απαλλαγμένο σφάλματος. Ορισμένοι αλγόριθμοι παρέχουν τόσο ανίχνευση σφάλματος όσο και δυνατότητα διόρθωσης σφαλμάτων.

Οι τεχνικές συμπίεσης δεδομένων έχουν μελετηθεί για να βελτιώσουν την αποτελεσματική ταχύτητα δεδομένων των μεταδόσεων VLF και LF . Μια μέθοδος είναι η κωδικοποίηση των δεδομένων έτσι ώστε μια ορισμένη μεταφρασμένη ομάδα χαρακτήρων να αποκωδικοποιείται σε μια μεγαλύτερη φράση. Αυτό λειτουργεί καλά αν οι μεταγραφικές μεταβιβάσεις μεταφέρονται σε συγκεκριμένα θέματα ή δηλώσεις αλλά δεν είναι

αποτελεσματική για γενικές μεταδόσεις. Μια πιο γενική τεχνική συμπίεσης είναι να κωδικοποιηθεί το αλφάβητο έτσι ώστε τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα γράμματα να απαιτούν τα λιγότερα κομμάτια.

Παραδόξως, το χαρακτηριστικό χαμηλής ταχύτητας δεδομένων των επικοινωνιών LF ενθαρρύνει την κατάσταση των τεχνικών διαμόρφωσης και διορθώσεως σφαλμάτων. Ο υψηλός λόγος ταχύτητας υπολογιστή προς ταχύτητα δεδομένων επιτρέπει στους ισχυρούς επεξεργαστές να εκτελούν αποτελεσματικά προηγμένες και πολύπλοκες τεχνικές επεξεργασίας σημάτων σε πραγματικό χρόνο. Οι τεχνικές που αναπτύσσονται στο LF μπορούν να μεταφερθούν σε υψηλότερες συχνότητες καθώς οι υπολογιστές αυξάνουν την ταχύτητα. (Dougherry, 1992)

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Σύνοψη της VLF

Τα χαρακτηριστικά διάδοσης των LF και VLF παρέχουν την ευκαιρία παγκόσμιας εκπομπής. Οι προκλήσεις των επικοινωνιών VLF και LF είναι υψηλής ισχύος, μεγάλων κεραιών μετάδοσης και χαμηλού ρυθμού δεδομένων. Η ανάγκη χρήσης των μοναδικών ωφελειών των επικοινωνιών χαμηλής συχνότητας έδωσε την ώθηση να εκμεταλλευτούν και να δημιουργήσουν τεχνολογικές προόδους για να ξεπεράσουν αυτές τις προκλήσεις. Η σταθερότητα φάσης της μετάδοσης VLF συνδυάζεται με προβλέψιμη ημερήσια διακύμανση για να επιτρέπει συγκρίσεις συχνοτήτων υψηλής ακρίβειας σε διηπειρωτικές αποστάσεις. Οι εξαιρετικές συγκρίσεις συχνοτήτων μπορούν να γίνουν χρησιμοποιώντας υπάρχοντες πομπούς VLF, όποτε να επιτρέπουν τα χρονοδιαγράμματα λειτουργίας τους, υπό τον όρο ότι χρησιμοποιούνται πολύ καλά οι ταλαντωτές στα σημεία λήψης. Εάν, ωστόσο, παρέχεται ένα συνεχές πρότυπο VLF, η τελευταία απαίτηση μπορεί να χαλαρώσει και οι απλές συσκευές λήψης θα μπορούσαν να κάνουν μια κοινή συχνότητα συνεχώς διαθέσιμη σε όλους τους δυνητικούς χρήστες. (Pierce, 1957)

Σύμφωνα με την ηλεκτρομαγνητική μέθοδο VLF η ανώμαλη ραδιοσυχνότητα που παρατηρείται, συνδέεται στενά με τα μεγάλα αγώγιμα σώματα που χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία της μεθόδου.

Η πρωτογενείς πηγές της VLF παράγονται μέσω πολύ ισχυρών κεραιών μετάδοσης οι οποίες όμως δεν μεταδίδουν σήματα στην πραγματικότητα, γεγονός που αποτελεί σημαντικό μειονέκτημα την μεθόδου. Το πρωτογενές μαγνητικό πεδίο μέσω του αγωγού εισέρχεται στο υπέδαφος και δημιουργεί με αυτόν τον τρόπο ένα νέο πεδίο. Ωστόσο, η ένταση του δευτερογενούς πεδίου είναι πάντα μικρότερη από εκείνη του πρωτογενούς πεδίου. Μια σημαντική παθητική μέθοδος είναι η AFMAG η οποία εκτείνεται από 50-500 Hz. Από την άλλη πλευρά το πρώτο εργαλείο VLF δημιουργήθηκε από τον Ronka και ονομάστηκε Geonics-HM 16.

Όπως προαναφέρθηκε αναλυτικά η εξασθένιση της ηλεκτρομαγνητικής μεθόδου VLF αποτελεί έναν άκρως περιοριστικό παράγοντα για την επικοινωνία μεταξύ μεγάλων

αποστάσεων. Επιπλέον, η έλλειψη πόλωσης VLF κοντά στον ηλεκτρικό αγωγό αποδίδει χαρακτηριστικές ιδιότητες του αγωγού.

Τέλος, η μέθοδος VLF-HM χρησιμοποιεί αποκλείστηκα μαγνητικά και ηλεκτρικά πεδία. Παρόλα αυτά, παροντικά γίνεται χρήση μόνο των μαγνητικών πεδίων γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι χρειάζονται καλύτερες μέθοδοι επεξεργασίας των δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται χρήση τριών τεχνικών για την ερμηνεία των δεδομένων της VLF: η τεχνική Fraser, η τεχνική Karous-Hjelt και η τροποποιημένη τεχνική K-H.

5.2 Σύνοψη της LF

Γενικά οι χαμηλές συχνότητες έχουν μεγάλη διάδοση στις επικοινωνίες και ιδιαίτερα στην επικοινωνία του στρατού. Όσον αφορά την επικοινωνία, η όσο τον δυνατόν χαμηλότερη συχνότητα συνδέεται με μεγαλύτερη εμβέλεια μεταξύ των επικοινωνιών. Οι κεραίες VLF είναι αρκετά μεγαλύτερες κεραίες από εκείνες της LF.

Δεδομένου ότι τα κύματα εδάφους που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη ζώνη απαιτούν κατακόρυφη πόλωση, οι κάθετες κεραίες χρησιμοποιούνται για μετάδοση. Τα θερμαντικά σώματα είναι πιο συνηθισμένα, είτε μονωμένα από το έδαφος και τροφοδοτημένα στο κάτω μέρος, είτε μερικές φορές τροφοδοτούνται μέσω καλωδίων. Λόγω των μεγάλων μηκών κύματος στη ζώνη, σχεδόν όλες οι κεραίες LF είναι ηλεκτρικά βραχείες, μικρότερες από το ένα τέταρτο του ακτινοβολούμενου μήκους κύματος, έτσι ώστε η χαμηλή αντίσταση τους στην ακτινοβολία να τις καθιστά ανεπαρκείς, απαιτώντας πολύ χαμηλή αντίσταση και αγωγούς για να αποφευχθεί η εξάπλωση της ισχύος του πομπού. Η χωρητικότητα βελτιώνει την απόδοση της κεραίας αυξάνοντας το ρεύμα, χωρίς να αυξάνει το ύψος της. Οι κεραίες T έχουν ύψος μεταξύ 50 και 200 μέτρων, ενώ οι κεραίες είναι συνήθως ψηλότερες από 150 μέτρα. Επιπλέον, η αύξηση ισχύος σε τοπικές κεραίες LF οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το όριο της τάσης τελικά ξεπερνάτε.

Συνεπώς, η επικοινωνίες που επιτυγχάνονται μέσω της χρήσης πολύ χαμηλών και χαμηλών συχνοτήτων είναι βασικά αξιόπιστες και έγκυρες. Ένα βασικό μειονέκτημα τους είναι ότι συνήθως εξασθενούν και υποφέρουν από την καμπύλη φάσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Administration, Central Federal Lands Highway Division, Lakewood, CO. (2003).
- Albert C. Baugh and Thomas Cable, *A History of the English Language*, London 2002.
- A. Schienle, R. Stark, D. Vaitl. (1998). Biological Effects of Very Low Frequency (VLF) *Atmospherics in Humans: A Review*. Journal of Scientific Exploration.
- David Grossman. (May 2017). *Our vlf radio waves are chaging space*. Popular mechanics.
- Donald L. Carpenter. (June 2014). *The early history of very low frequency (vlf) radio research at stanford: years of discovery, innovation, and analysis, supported by field work extending from antarctica to alaska*.
- John A. Piercet. (1957). *Very Low-Frequency Radio Transmission*. Intercontinental Frequency Comparison.
- John Keller. (Φεβρουάριος 2017). Article: *Rockwell Collins builds very low frequency (VLF) military communications for B-2 stealth bomber*. Published on Military and Aerospace.
- Kabirzadeh, R, Marshall RA, Inan US (2017) .*Early/fast VLF events produced by the quiescent heating of the lower ionosphere by thunderstorms*. Journal of Geophysical Research: Atmospheres.
- Miguel Ángel Alatorre-Zamora , José Oscar Campos-Enríquez, Salvador Isidro BelmonteJiménez and Jaime Ibarra-Nuño1-257. (2014). *Inference of fault and fracture systems beneath the Matatlan waste dump basement, a VLF study*. Geofisica internacional 53-3: 24.
- Norman R. Paterson , Vaino Ronka. (1970). *Five years of surveying with the very low frequency- electromagnetics method*. Geoexploration. Toronto, Ont. Canada.
- Peder Hansen .(1956) .*High power very low frequency/low frequency transmitting antennas*
- P.J. Ralph Johler. *Propagation of the Low-Frequency Radio Signal* .(1948).
- Ray T. Smith, Fred P. M. Jjunju, Iain S. Young, Stephen Taylor, Simon Maher. (2016). *A physical model for low-frequency electromagnetic induction in the near field based on direct*

interaction between transmitter and receiver electrons. Proceedings. Mathematical, physical and engineering science.

"Rec. ITU-R V.431-7, Nomenclature of the frequency and wavelength bands used in telecommunications" (PDF). ITU. Archived from the original (PDF) on 31 October 2013. Retrieved 20 February 2013.

R. S. Macmillan, W. V. T. Rusch , R. M. Golden. (1959). Journal of Research of the National Bureau of Standard.

Seybold, John S. (2005). Introduction to RF Propagation. John Wiley and Sons. pp. 55–58.

Therese Dougherty, Kathleen Crauer. (1992). National Convention and Student Conference. Orlando, Florida.

Very low frequency. *Submarine communications master plan* (Δεκέμβριος 1995). Ανακτήθηκε 29 Απριλίου 1998 από <http://www.fas.org/nuke/guide/usa/c3i/vlf.htm>

Wightman, W. E., Jalinoos, F., Sirles, P., and Hanna, K. (2003). "*Application of Geophysical Methods to Highway Related Problems*." Federal Highway.

Zhen Zhang (2015) .*The geophysical very low frequency electromagnetic (vlf-em)*

method: effects of topography and surface water investigated with simulations and field meas

