



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Γ. Δ. ΣΕΡΓΙΑΔΗΣ, Δ. Σ. ΑΛΕΞΙΑΔΗΣ, Κ. Α. ΣΤΑΣΙΝΟΠΟΥΛΟΣ

ΟΡΙΑ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΖΕΥΞΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΙΣΤΩΝ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΓΡΑΜΜΩΝ Υ.Τ.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η έκθεση σε ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία χαμηλών συχνοτήτων, μετά από έρευνες έχει προστεθεί στη λίστα ενδεχόμενων κινδύνων για τη ανθρώπινη υγεία. Κατά συνέπεια τα πεδία συχνοτήτων 50/60Hz που παράγονται από τους αγωγούς γραμμών μεταφοράς υψηλής τάσης (ΥΤ) κρίνεται πως εγκυμονούν πιθανούς κινδύνους. Παρόλο που στρατηγική των επιχειρήσεων ηλεκτρισμού αποτελεί η χάραξη των οδεύσεων γραμμών ΥΤ μέσα από άγονα και ακατοίκητα εδάφη, δεν είναι σπάνιο φαινόμενο η γειννίαση των γραμμών με κατοικημένες περιοχές, ειδικά κοντά σε κέντρα παραγωγής ή διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας ή σε περιπτώσεις αναπτυσσομένων οικισμών. Συχνά, λοιπόν κρίνεται σκόπιμη η πραγματοποίηση μετρήσεων με σκοπό τον προσδιορισμό των επιπέδων της έντασης του μαγνητικού πεδίου σε οικιστικές περιοχές, πλησίον γραμμών μεταφοράς ΥΤ.

Στην δεύτερη ενότητα της εργασίας, παρατίθενται οι μηχανισμοί σύζευξης των Η/Μ πεδίων χαμηλών συχνοτήτων με τον ανθρώπινο οργανισμό. Ακολούθως περιγράφονται οι σχετικοί περιορισμοί ασφαλείας που υιοθετήθηκαν από την ευρωπαϊκή ένωση και το ελληνικό κράτος. Στην τρίτη ενότητα, δίνονται στοιχεία σχετικά με τον θεωρητικό υπολογισμό της αναμενόμενης έντασης μαγνητικού πεδίου πλησίον γραμμών ΥΤ και ακολούθως, στην τέταρτη ενότητα παρατίθενται κάποια ενδεικτικά αποτελέσματα μετρήσεων. Τέλος πραγματοποιείται σχετική συζήτηση, εξαγωγή συμπερασμάτων και διατύπωση γενικών

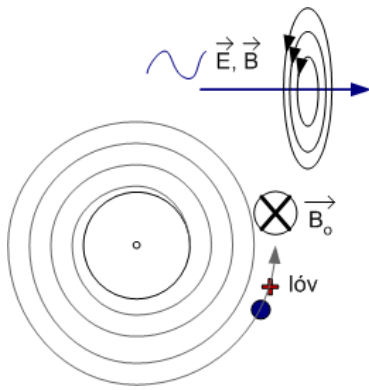
προτάσεων αντιμετώπισης των πιθανών κινδύνων.

2. ΣΥΖΕΥΞΗ ΠΕΔΙΩΝ ΜΕ ΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ - ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

2.1. Σύζευξη με πεδία χαμηλής συχνότητας

Η φυσική αλληλεπίδραση χρονικά μεταβαλλόμενων πεδίων με το ανθρώπινο σώμα έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία εξ επαγωγής ηλεκτρικών ρεαμάτων εντός αυτού. Η πυκνότητα του ρεύματος είναι ανάλογη της αγωγιμότητας των ιστών, του ρυθμού μεταβολής (συχνότητα) και του μεγέθους του μεταβαλλόμενου πεδίου. Το ακριβές ρεύμα που επάγεται σε κάθε σημείο του σώματος εξαρτάται από την διαφορετική αγωγιμότητα των ιστών. Το σώμα δεν είναι ηλεκτρικά ομοιογενές. Ωστόσο, οι επαγόμενες πυκνότητες των ρευμάτων μπορούν να υπολογιστούν, χρησιμοποιώντας ανατομικά, ηλεκτρικά ρεαλιστικά μοντέλα του σώματος με αριθμητικές μεθόδους.

Κύριο μηχανισμό σύζευξης με πεδία χαμηλών συχνοτήτων αποτελεί ο συντονισμός κύκλωτρου. Η συνύπαρξη του στατικού γήινου μαγνητικού πεδίου B_0 με μεταβαλλόμενο Η/Μ πεδίο E, B έχει σαν αποτέλεσμα τα κινούμενα ιόντα να απορροφούν ενέργεια από το μεταβαλλόμενο πεδίο, όταν η συχνότητα αυτού είναι περίπου ίση με τη συχνότητα κυκλώτρου. Με δεδομένη την τιμή της μαγνητικής επαγωγής του γήινου μαγνητικού πεδίου, για ιόντα μέγιστης βιολογικής σημασίας όπως το K^+ , Na^+ και Ca^{+2} , η συχνότητα κυκλώτρου προκύπτει κοντά στη συχνότητα των 50Hz.



Εικόνα 1. Συντονισμός κύκλωτρον

Μέχρι πριν δύο δεκαετίες περίπου, τα πεδία χαμηλών συχνοτήτων που σχετίζονται εκτός των άλλων με τις γραμμές μεταφοράς ΥΤ, δεν θεωρούνταν ικανά να αποτελέσουν κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία, δεδομένου ότι δεν υπάρχει μεγάλη απορρόφηση ενέργειας των πεδίων από τα βιολογικά συστήματα. Σε αντίθεση με τις ακτίνες-Χ (ιοντίζουσα ακτινοβολία) τα πεδία χαμηλών συχνοτήτων δεν μπορούν να διασπάσουν χημικούς δεσμούς και σε αντίθεση με τα μικροκύματα δεν προκαλούν σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών. Παρόλα αυτά, έρευνες έδειξαν ότι υπό ορισμένες συνθήκες, η κυτταρική μεμβάνη ορισμένων τύπων κυττάρων μπορεί να δείξει ευαισθησία ακόμα και σε σχετικά μικρής έντασης πεδία χαμηλών συχνοτήτων, υπάρχουν δε αναφορές για επίδραση των πεδίων στην σύνθεση του DNA

και πρόκληση καρκινογενέσεων και ειδικότερα λευκαϊμίας (βλέπετε [2] και αναφορές εκεί).

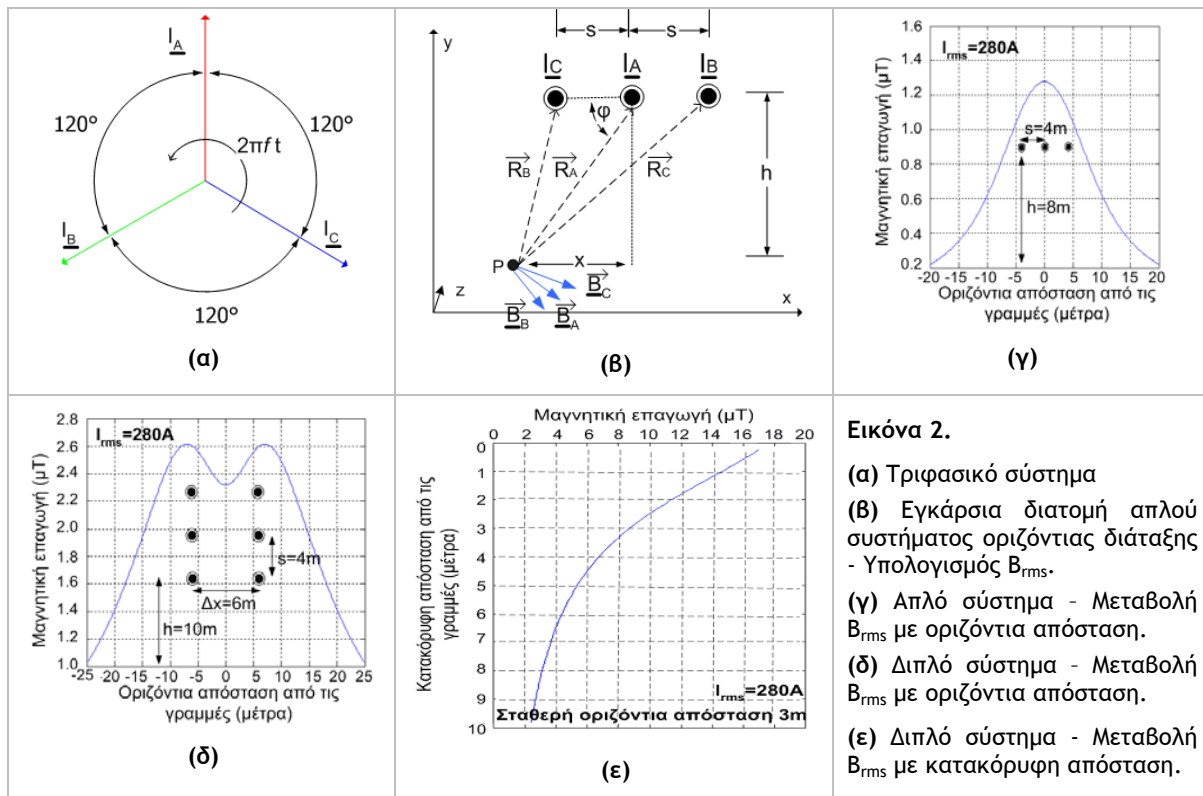
2.2. Περιορισμοί ασφαλείας

Οι βασικοί περιορισμοί ασφαλείας σχετικά με την έκθεση σε Η/Μ πεδία, που υιοθετήθηκαν από την ευρωπαϊκή ένωση, περιγράφονται στο κείμενο [5] που συγκροτήθηκε το 1999 σύμφωνα με τις υποδείξεις της διεθνούς επιτροπής για την προστασία από τη μη ιοντίζουσα ακτινοβολία (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection - ICNIRP)[1]. Οι ίδιοι περιορισμοί υιοθετήθηκαν από το ελληνικό κράτος, όπως δημοσιεύεται στο σχετικό φύλλο της εφημερίδας της κυβερνήσεως [6] και συνοψίζονται στον πίνακα 1. Όπως προκύπτει από τον πίνακα το όριο της μαγνητικής επαγωγής είναι ίσο με 100μΤ στη συχνότητα των 50Hz.

Οι κανονισμοί ασφαλείας που έχουν θεσπιστεί βασίζονται σε επιβεβαιωμένα στοιχεία από μετρήσεις και θεωρητική έρευνα [1] και συγκεκριμένα αναφέρονται στις άμεσες επιπτώσεις στην υγεία, όπως είναι η διέγερση των περιφερειακών νεύρων και των μυών και αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών, λόγω απορρόφησης της Η/Μ ενέργειας. Για την περίπτωση μακροπρόθεσμων επιπτώσεων, όπως είναι ο αυξημένος κίνδυνος για εμφάνιση καρκίνου, η ICNIRP έχει συμπεράνει ότι τα διαθέσιμα στοιχεία είναι ανεπαρκή για την θέσπιση περιορισμών ασφαλείας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Πρότυπο ICNIRP. (μέσος χρόνος: 6 min) - Γενικό κοινό

Ζώνη συχνοτήτων	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου E (V/m)	Ένταση μαγνητικού πεδίου H (A/m)	Μαγνητική επαγωγή πεδίου B (μΤ)	Ισοδύναμη πυκνότητα ισχύος επιπέδου κύματος S_{eq} (W/m ²)
0-1 Hz	-	$3.2 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	-
1-8 Hz	10000	$3.2 \cdot 10^4 / f^2$	$4 \cdot 10^4 / f^2$	-
8-25 Hz	10000	$4000 / f$	$5000 / f$	-
0.025-0.8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	-
0.8-3 kHz	$250 / f$	5	6.25	-
3-150 kHz	87	5	6.25	-
0.15-1 MHz	87	$0.73 / f$	$0.92 / f$	-
1-10 MHz	$87 / f^{1/2}$	$0.73 / f$	$0.92 / f$	-
10-400 MHz	28	0.073	0.092	2
400-2000 MHz	$1.375 f^{1/2}$	$0.0037 f^{1/2}$	$0.0046 f^{1/2}$	$f / 200$
2-300 GHz	61	0.16	0.2	10



3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΕΝΑΕΡΙΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Στην παρούσα ενότητα δίνονται αποτελέσματα από τον θεωρητικό υπολογισμό της μαγνητικής επαγωγής του πεδίου που δημιουργούν οι ρευματοφόροι αγωγοί εναέριων γραμμών. Δεδομένου ότι η συγκεκριμένη μελέτη δεν αποτελεί το κεντρικό θέμα της εργασίας, δεν εκθέτουμε λεπτομερώς την ανάλυση που πραγματοποιείται.

Σύμφωνα με το νόμο του Ampere, η μαγνητική επαγωγή του πεδίου γύρω από ευθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό ρεύματος I , σε απόσταση r από αυτόν δίνεται από τη σχέση:

$$\vec{B} = \frac{\mu I}{2\pi r} \vec{\phi}_o$$

όπου μ είναι η μαγνητική διαπερατότητα, ενώ το μοναδιαίο μήκος διάνυσμα $\vec{\phi}_o$ δηλώνει πως το διάνυσμα B είναι εφαπτομενικό στην

κυκλική περιφέρεια ακτίνας r , γύρω από τον αγωγό.

Καθότι στις γραμμές μεταφοράς ενός ή δύο τριφασικών συστημάτων έχουμε αντίστοιχα τρεις και έξι ρευματοφόρους αγωγούς, τελικά η ένταση του συνιστάμενου μαγνητικού πεδίου δίνεται από το διανυσματικό άθροισμα των μαγνητικών εντάσεων που δημιουργεί ο κάθε αγωγός χωριστά. Ταυτόχρονα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι σε κάθε συμμετρικό τριφασικό σύστημα, τα ρεύματα κάθε αγωγού είναι ίσα σε πλάτος και διαφέρουν φασικά κατά 120° , μπορούν δε να αναπαρασταθούν με τη βοήθεια περιστρεφόμενων διανυσμάτων σύμφωνα με το σχήμα της εικόνας 2(α). Το συνιστάμενο πεδίο σε συγκεκριμένο σημείο υπολογίζεται με χρήση τόσο διανυσμάτων στο χώρο, όσο και περιστρεφόμενων διανυσμάτων για την περιγραφή των μεταβαλλόμενων ρευμάτων, η ανάλυση δε μπορεί να απλοποιηθεί με χρήση διπλά μιγαδικών αριθμών. Για περισσότερες λεπτομέρειες ο αναγνώστης παραπέμπεται στα [3,4]. Στο σχήμα της εικόνας 2(β), παρατίθεται ο τρόπος με τον οποίο προκύπτει το συνιστάμενο πεδίο που δημιουργείται από

εναέρια γραμμή επίπεδης διάταξης αγωγών, απλού τριφασικού συστήματος.

Με τη βοήθεια του μαθηματικού πακέτου Matlab, προσδιορίσαμε την αναμενόμενη ενεργό τιμή της μαγνητικής επαγωγής του πεδίου, σε συνάρτηση με την οριζόντια απόσταση από τον άξονα της γραμμής για δεδομένο ύψος αγωγών και σε συνάρτηση με την κατακόρυφη απόσταση για δεδομένη οριζόντια απόσταση. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στα διαγράμματα της εικόνας 2 όπου δίνονται και οι τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν (τυπικές τιμές). Το συμπέρασμα είναι ότι ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι περιπτώσεις στις οποίες κτίσματα εντοπίζονται σε αποστάσεις μικρότερες των 30m από τις γραμμές ΥΤ. Ειδικά στην περίπτωση πολυόροφων κτιρίων, η μαγνητική επαγωγή μπορεί να πάρει σημαντικά υψηλές τιμές στο ίδιο ύψος με αυτό των αγωγών.

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ - ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σε περίπτωση που μελετάται η υφιστάμενη κατάσταση σε μία ευρύτερη περιοχή, αρχικό σκοπό αποτελεί ο εντοπισμός σημείων όπου γραμμές μεταφοράς ΥΤ γειτνιάζουν με οικιστικές περιοχές. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται ειδικοί χάρτες με χάραξη των οδεύσεων των γραμμών μεταφοράς και εντοπίζονται οι «κρίσιμες» περιοχές.

Ακολούθως πραγματοποιούνται μετρήσεις της μαγνητικής επαγωγής σε επιλεγμένα σημεία πλησίον των γραμμών ΥΤ, με χρήση ειδικών μαγνητόμετρων ενός ή τριών αξόνων και καταγράφονται οι τιμές αυτής. Ακολουθεί σύγκριση με το αντίστοιχο επιτρεπόμενο όριο,

το οποίο για συχνότητα 50Hz υπολογίζεται ίσο με 100μΤ (βλέπετε πίνακα 1).

Στον πίνακα 2 δίνονται ενδεικτικά αποτελέσματα μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος σε κοινότητα του Ν. Κοζάνης. Στο σύνολο πλήθους μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν, οι τιμές της μαγνητικής επαγωγής βρέθηκαν σε επίπεδα τουλάχιστον 10 φορές χαμηλότερα από το όριο των 100μΤ.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Όπως τονίστηκε στην παράγραφο 2.2, οι ισχύοντες κανονισμοί ασφαλείας βασίζονται σε επιβεβαιωμένα στοιχεία από μετρήσεις και θεωρητική έρευνα. Αντιθέτως, επιπτώσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στην ανθρώπινη υγεία, που δεν θεωρούνται αποδεδειγμένες, όπως η πρόκληση καρκινογενέσεων εξαιτίας μακροχρόνιας έκθεσης, δεν έχουν ληφθεί υπόψη στην θέσπιση των κανονισμών. Για τη συγκεκριμένη περίπτωση, η διεθνής επιτροπή για την προστασία από τη μη ιοντίζουσα ακτινοβολία (ICNIRP), έχει συμπεράνει ότι τα διαθέσιμα στοιχεία είναι ανεπαρκή. Ωστόσο, υπενθυμίζεται ότι η επιδημιολογική έρευνα έχει δώσει ενδεικτικά στοιχεία για πιθανή πρόκληση καρκινοπαθήσεων εξαιτίας της έκθεσης σε μαγνητικά πεδία χαμηλών συχνοτήτων (50/60Hz) με ένταση μαγνητικής ροής σημαντικά χαμηλότερη από αυτή που έχει θεσπιστεί τελικά.

Με βάση τα παραπάνω και δεδομένου του γεγονότος ότι τα όρια έκθεσης σε Η/Μ ακτινοβολία αναμένεται να μειωθούν, κρίνεται αναγκαία η εφαρμογή της αρχής της «συνετούς αποφυγής». Δεδομένου ότι η αλλαγή στην χάραξη των οδεύσεων γραμμών

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Ενδεικτικές τιμές μαγνητικής επαγωγής πεδίου γραμμής ΥΤ

Όνομαστική τάση γραμμής	150kV		
Ύψος αγωγών	> 8m		
Σημείο μετρήσεων	Ορ. Απόσταση	Μαγν. Επαγωγή	Σχέση με το όριο
Πλησίον της γραμμής	1 m	4,2 μΤ	4,2 %
Όρια περίβολου κατοικίας	25 m	1,1 μΤ	1,1 %

μεταφοράς κρίνεται δύσκολη, στην περίπτωση ύπαρξης αμφιβολιών προτείνεται η εκ των προτέρων εφαρμογή εναλλακτικών λύσεων σχετικά με τους χώρους ανέγερσης κτισμάτων. Κυρίως, χώροι όπως νοσοκομεία ή σχολεία, δεδομένου ότι πρόκειται να φιλοξενήσουν τα πλέον ευπαθή σε Η/Μ ακτινοβολία άτομα, προτείνεται να ανεγείρονται σε χώρους «προστατευμένους» και απομακρυσμένους από γραμμές ΥΤ.

6. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)”, April 1998, Vol. 74, No 4, Health Physics
- [2] Indira Nair, M. G. Morgan, H. K. Forig, “Biological Effects of Power Frequency Electric and Magnetic Fields”, Carnegie Mellon University - Department of Engineering and Public Policy, 1989
- [3] Jose Luis Giordano, “Calculation of the effective magnetic field under high-voltage power lines”, - Departamento de Cienciay Tecnologia de Materiales y Fluidos,CPS,Universidad de Zaragoza, Spain, 1998
- [4] Filippopoulos, D.Tsanakas, “Accurate formulae of power line magnetic fields”, - Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Η/Υ, 2001
- [5] Official Journal of the European Communities, L199/59, “Council Recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz)”, (1999/519/EC)
- [6] Φύλλο Εφημερίδας Κυβερνήσεως ΦΕΚ 1105/Β/06-09-2000, «Μέτρα προφύλαξης του κοινού από τη λειτουργία κεραιών εγκατεστημένων στην ξηρά», Αριθ. 53571/3839