

# ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΕ ΧΑΜΗΛΟΣΥΧΝΑ ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΣΕ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Χ. Γκόβαρη, Μ. Χριστοπούλου, Π. Τσαπρούνη, Ν. Σκαμνάκης, Ε. Καλαμπαλίκη,  
Δ. Κουτουνίδης, Χ. Τζουμανίκα, Α. Γιαλόφας, Ε. Καραμπέτσος  
Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών  
Πατριάρχου Γρηγορίου και Νεαπόλεως, Αγία Παρασκευή, Τ.Θ 60092, Τ.Κ. 15310  
email: [thkarabe@eeae.gr](mailto:thkarabe@eeae.gr)

## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η συγκριτική παρουσίαση μετρήσεων χαμηλόσυχνων μαγνητικών πεδίων σε τέσσερις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα εστιάζοντας α) στις δυσμενέστερες συνθήκες έκθεσης, β) στην παρουσία αρμονικών συνιστωσών του μετρούμενου μαγνητικού πεδίου, γ) στις τοπολογικές ομοιότητες μεταξύ των μονάδων και δ) στη σύγκριση των μετρούμενων ποσοστών των τιμών ανάληψης δράσης σε τυπικές θέσεις εργασίας. Μια τέτοια προσέγγιση θα μπορούσε να οδηγήσει σε καθορισμό συγκεκριμένων περιοχών/ζωνών σε τέτοιου είδους εγκαταστάσεις, ανάλογα με τις τιμές έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία (ΗΜΠ). Εν συνεχεία, θα ήταν δυνατόν να προσδιοριστούν συγκεκριμένα μέτρα προστασίας για κάθε περιοχή/ζώνη.

*Λέξεις-Κλειδιά: χαμηλόσυχνα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, επαγγελματική έκθεση, σταθμός παραγωγής ενέργειας*

## Abstract

The scope of the paper is to comparatively present the Extremely Low Frequency (ELF) measurements performed at four power plants in Greece, focusing into: a) the worst-case exposure conditions, b) the existence of magnetic field harmonic components, c) the topology similarities among the power plants, and d) comparison of the measured percentages of action values at typical working areas in the power plants. The study aims to map the working areas of power plants into certain zones and to propose protective guidelines.

*Key-words: extremely low frequency electric and magnetic fields, occupational exposure, power plant*

Χ. Γκόβαρη, Μ. Χριστοπούλου, Π. Τσαπρούνη, Ν. Σκαμνάκης, Ε. Καλαμπαλίκη, Δ. Κουτουνίδης, Χ. Τζουμανίκα, Α. Γιαλόφας, Ε. Καραμπέτσος, Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών  
Αξιολόγηση της επαγγελματικής έκθεσης σε μαγνητικά πεδία σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα

## 1. Εισαγωγή

Διεθνώς, σημειώνεται αυξημένο ενδιαφέρον σχετικά με τις πιθανές επιδράσεις στην υγεία των επαγγελματικά εκτιθέμενων σε ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία χαμηλών συχνοτήτων. Το ελληνικό σύστημα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργεί στα 50 Hz, τιμή που αντιστοιχεί στη βασική συχνότητα του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου. Εντούτοις, στην πράξη, σε πολλές περιπτώσεις στις μετρούμενες τιμές των πεδίων, παρουσιάζονται και άλλες συχνότητες, συνήθως αρμονικές της βασικής. Σε αυτές τις περιπτώσεις, στην εκτίμηση της επιβάρυνσης των εργαζομένων λαμβάνεται υπόψη και η συνεισφορά των αρμονικών συνιστωσών, σύμφωνα με τη Σύσταση της Ε.Ε. και την Ελληνική Νομοθεσία.

Για τους επαγγελματικά εκτιθέμενους στα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, η Ε.Ε. έχει εκδώσει την οδηγία 2013/35/EC [1] του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου περί των ελαχίστων απαιτήσεων υγείας και ασφάλειας, όσον αφορά στην έκθεση των εργαζομένων σε κινδύνους προερχόμενους από φυσικούς παράγοντες (ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία).

Η αρμόδια αρχή για την προστασία του γενικού πληθυσμού και του περιβάλλοντος από τις τεχνητά παραγόμενες μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες είναι η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ). Στα πλαίσια των αρμοδιοτήτων της, η ΕΕΑΕ έχει πραγματοποιήσει μεγάλο αριθμό επιτόπιων μετρήσεων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κατόπιν σχετικών αιτημάτων των υπευθύνων ασφάλειας και υγιεινής των μονάδων αυτών, ώστε να γίνει εκτίμηση της έκθεσης των εργαζομένων. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση των μετρήσεων σε τέσσερις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε τυπικές θέσεις εργασίας. Μια τέτοια προσέγγιση θα μπορούσε να οδηγήσει σε καθορισμό συγκεκριμένων περιοχών/ζωνών [2] σε τέτοιου είδους εγκαταστάσεις, ανάλογα με τις τιμές έκθεσης σε ΗΜ πεδία. Εν συνεχεία, θα ήταν δυνατόν να προσδιοριστούν συγκεκριμένα μέτρα προστασίας για κάθε περιοχή/ζώνη.

## 2. Περιγραφή της οδηγίας 2013/35/EC για τους επαγγελματικά εκτιθέμενους

Στην οδηγία 2013/35/EC [1] καθορίζονται οι εξής έννοιες οι οποίες αφορούν στον προσδιορισμό της έκθεσης των εργαζομένων:

α) «οριακές τιμές έκθεσης (Exposure Limit Values, ELV)»: οι τιμές που καθορίζονται βάσει βιοφυσικών και βιολογικών εκτιμήσεων, ιδιαίτερα στη βάση επιστημονικώς παγιωμένων βραχυπρόθεσμων και εντόνων άμεσων επιπτώσεων, δηλ. των θερμικών επιπτώσεων και της ηλεκτρικής διέγερσης των ιστών, οι οποίες διακρίνονται σε:

i) «ELV με επιπτώσεις στην υγεία»: οι τιμές άνω των οποίων ενδέχεται να υπάρξουν δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία των εργαζομένων, όπως η αύξηση θερμοκρασίας των βιολογικών ιστών ή η διέγερση του νευρικού και μυϊκού ιστού,

ii) «ELV με αισθητηριακές επιπτώσεις»: εκείνες οι ELV άνω των οποίων οι εργαζόμενοι ενδέχεται να παρουσιάσουν παροδικές διαταραχές στις αισθητηριακές αντιλήψεις και μικρές μεταβολές των εγκεφαλικών λειτουργιών,

Χ. Γκόβαρη, Μ. Χριστοπούλου, Π. Τσαπρούνη, Ν. Σκαμνάκης, Ε. Καλαμπαλίκη, Δ. Κουτουνίδης, Χ. Τζουμανίκα, Α. Γιαλόφας, Ε. Καραμπέτσος, Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Γραφείο Μη Ιοντίζουσών Ακτινοβολιών

Αξιολόγηση της επαγγελματικής έκθεσης σε μαγνητικά πεδία σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα

β) «επίπεδα δράσης (Action Levels, AL)»: τα λειτουργικά όρια που καθορίζονται με σκοπό την απλοποίηση της διαδικασίας συμμόρφωσης με τις σχετικές ELV ή, όπου απαιτείται, προκειμένου να ληφθούν τα σχετικά μέτρα προστασίας ή πρόληψης κατά την οδηγία. Ειδικά όσον αφορά τα επίπεδα δράσης για την έκθεση των εργαζομένων σε μαγνητικά πεδία χαμηλών συχνοτήτων, εφαρμόζεται στην οδηγία η εξής κατηγοριοποίηση (βλ. Πίνακα 1):

i) Τα χαμηλά AL, τα οποία αφορούν συχνότητες κάτω των 400 Hz και προκύπτουν από τις ELV με αισθητηριακές επιπτώσεις

ii) Τα υψηλά AL, προκύπτουν από τις ELV με επιπτώσεις στην υγεία για το εσωτερικό ηλεκτρικό πεδίο που σχετίζεται με ηλεκτρική διέγερση των περιφερειακών και αυτόνομων νευρικών ιστών στην κεφαλή και στον κορμό. Η συμμόρφωση προς τα υψηλά AL διασφαλίζει τη μη υπέρβαση των ELV με επιπτώσεις στην υγεία, αλλά είναι πιθανές οι φωτοψίες του αμφιβληστροειδούς και οι περιορισμένης μορφής παροδικές αλλαγές στην εγκεφαλική δραστηριότητα, εφόσον η έκθεση της κεφαλής υπερβαίνει τα χαμηλά AL για εκθέσεις άνω των 400 Hz.

Πίνακας 1.-AL για την έκθεση σε μαγνητικά πεδία από 1 Hz έως 10 MHz

Περιοχή συχνοτήτων	Πυκνότητα μαγνητικής ροής (B) (χαμηλών AL) ( $\mu\text{T}$ ) RMS	Πυκνότητα μαγνητικής ροής (B) (υψηλών AL) ( $\mu\text{T}$ ) RMS	Πυκνότητα μαγνητικής ροής AL για την έκθεση των άκρων σε τοπικό μαγνητικό πεδίο ( $\mu\text{T}$ ) RMS
$1 \leq f < 8 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^{-5} / f^2$	$3,0 \times 10^{-5} / f$	$9,0 \times 10^{-5} / f$
$8 \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,5 \times 10^{-4} / f$	$3,0 \times 10^{-5} / f$	$9,0 \times 10^{-5} / f$
$25 \leq f < 300 \text{ Hz}$	$1,0 \times 10^{-3}$	$3,0 \times 10^{-5} / f$	$9,0 \times 10^{-5} / f$
$300 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$3,0 \times 10^{-5} / f$	$3,0 \times 10^{-5} / f$	$9,0 \times 10^{-5} / f$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,0 \times 10^{-2}$	$1,0 \times 10^{-2}$	$3,0 \times 10^{-2}$

Σημείωση:  $f$  είναι η συχνότητα εκφρασμένη σε Hertz (Hz)

Κατά το χρονικό διάστημα διεξαγωγής των μετρήσεων της παρούσας εργασίας, η προαναφερθείσα οδηγία δεν είχε εκδοθεί. Στις μετρήσεις ελήφθησαν υπόψη οι Οριακές Τιμές έκθεσης (σε αντιστοιχία με ELV) και οι Τιμές ανάληψης δράσης (σε αντιστοιχία με AV), οι οποίες αναφέρονται στην οδηγία 2004/40/EC [3] του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του συμβουλίου περί των ελαχίστων απαιτήσεων υγείας και ασφάλειας, όσον αφορά την έκθεση των εργαζομένων σε κινδύνους προερχόμενους από φυσικούς παράγοντες (ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία). Για την συχνότητα των 50 Hz οι τιμές ανάληψης δράσης για το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο έχουν οριστεί στα 10 kV/m και 500  $\mu\text{T}$ , αντίστοιχα. Θα πρέπει εδώ να επισημανθεί ότι στην νέα οδηγία 2013/35/EC το αντίστοιχο αυστηρότερο όριο, (χαμηλό AL) για την συχνότητα των 50 Hz είναι τα 1000  $\mu\text{T}$ .

X. Γκόβαρη, Μ. Χριστοπούλου, Π. Τσαπρούνη, Ν. Σκαμνάκης, Ε. Καλαμπαλίκη, Δ. Κουτουνίδης, Χ. Τζουμανίκα, Α. Γιαλόφας, Ε. Καραμπέτσος, Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών

Αξιολόγηση της επαγγελματικής έκθεσης σε μαγνητικά πεδία σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα

### 3. Μέθοδοι

#### 3.1. Τεχνική περιγραφή των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Η ηλεκτρική ενέργεια η οποία παράγεται στις μονάδες μεταφέρεται στο εθνικό διασυνδεδεμένο δίκτυο με γραμμές μεταφοράς 400 kV και 150 kV. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στις κάτωθι τέσσερις ιδιωτικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας:

**Μονάδα Α (Βοιωτία):** Θερμοηλεκτρικός σταθμός παραγωγής ενέργειας ισχύος 421 MW διπλού άξονα. Περιλαμβάνει δύο γεννήτριες 16 kV και 18 kV οι οποίες συνδέονται στο εθνικό διασυνδεδεμένο δίκτυο στο επίπεδο των 400 kV μέσω δύο μετασχηματιστών ανύψωσης τάσης. Εύρος λειτουργίας κατά την διάρκεια των μετρήσεων (Operation Range, OR): 234,5 MW-266,2 MW.

**Μονάδα Β (Θεσσαλονίκη):** Θερμοηλεκτρικός σταθμός παραγωγής ενέργειας ισχύος 400 MW διπλού άξονα. Περιλαμβάνει δύο γεννήτριες 15,75 kV έκαστη, οι οποίες συνδέονται στο εθνικό διασυνδεδεμένο δίκτυο στο επίπεδο των 400 kV μέσω δύο μετασχηματιστών ανύψωσης τάσης. OR: 229,15 MW- 270,16 MW.

**Μονάδα C (Βοιωτία):** Θερμοηλεκτρικός σταθμός παραγωγής ενέργειας ισχύος 420 MW μονού άξονα. Περιλαμβάνει γεννήτρια 19 kV η οποία συνδέεται στο εθνικό διασυνδεδεμένο δίκτυο στο επίπεδο των 400 kV μέσω μετασχηματιστή ανύψωσης τάσης. OR: 258 MW-400 MW.

**Μονάδα D (Κόρινθος):** Θερμοηλεκτρικός σταθμός παραγωγής ενέργειας ισχύος 436,7 MW μονού άξονα. Περιλαμβάνει γεννήτρια 19kV η οποία συνδέεται στο εθνικό διασυνδεδεμένο δίκτυο στο επίπεδο των 150kV μέσω μετασχηματιστή ανύψωσης τάσης. OR: 225,9 MW-327,56 MW.



(α)



(β)

Φωτογραφία 1.-Απόψεις των εγκαταστάσεων κατά την διεξαγωγή των μετρήσεων: Διεξαγωγή μετρήσεων, σε επιλεγμένη μονάδα (α) πλησίον αγωγών χαμηλής τάσης, (β) στο χώρο της γεννήτριας.

Χ. Γκόβαρη, Μ. Χριστοπούλου, Π. Τσαπρούνη, Ν. Σκαμνάκης, Ε. Καλαμπαλίκη, Δ. Κουτουνίδης, Χ. Τζουμανίκα, Α. Γιαλόφας, Ε. Καραμπέτσος, Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών  
Αξιολόγηση της επαγγελματικής έκθεσης σε μαγνητικά πεδία σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα

### 3.2. Εξοπλισμός και Μεθοδολογία μετρήσεων

Ως όργανο μέτρησης πεδίων χαμηλών συχνοτήτων χρησιμοποιήθηκε η μονάδα EFA-300, (Narda Safety Test Solutions GmbH). Πρόκειται για φορητή ψηφιακή μονάδα μέτρησης πεδίου για ισοτροπικές και μη, μετρήσεις, με εύρος φάσματος μετρήσεων στην περιοχή 5 Hz - 32 kHz. Τα μετρήσιμα μεγέθη είναι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (E) σε V/m και η μαγνητική επαγωγή (B) σε  $\mu$ T. Το διακριτικό εύρος του οργάνου για την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου είναι 10 V/m – 100 kV/m και για την ένταση του μαγνητικού πεδίου 100 nT–32 mT. Οι βασικές μονάδες μέτρησης διαθέτουν ενσωματωμένο ανιχνευτή μαγνητικού πεδίου και ανάλογα με τη στρατηγική και την μέθοδο δειγματοληψίας προσαρτούνται ειδικοί αισθητήρες (probes).

Το σύστημα δύναται να μετρά την ενεργό (rms) τιμή ή τη μέγιστη (max) τιμή των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων, σε επιλεγμένες συχνότητες ή σε συγκεκριμένες περιοχές συχνοτήτων. Η ένδειξη του οργάνου είναι σε μονάδες V/m ή σε  $\mu$ T, για την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου ή την μαγνητική επαγωγή, αντίστοιχα. Το σύστημα EFA-300 έχει επιπλέον την δυνατότητα άμεσης εκτίμησης των επιπέδων έκθεσης ως ποσοστό των ορίων έκθεσης, σύμφωνα με την Ελληνική Νομοθεσία. Η τελευταία δυνατότητα είναι πολύ χρήσιμη στις περιπτώσεις που το πεδίο είναι παλμικά διαμορφωμένο ή πλούσιο σε φασματικές συνιστώσες. Επιπλέον το σύστημα EFA-300 δύναται να πραγματοποιεί αναλύσεις αρμονικών συνιστωσών καθώς επίσης και φασματικές αναλύσεις μέσω γρήγορου μετασχηματισμού Fourier (FFT). Αυτό είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα σε σύγκριση με αντίστοιχα όργανα μέτρησης (ELT-400, EFA-3) τα οποία είτε είναι αποκλειστικά σχεδιασμένα για μετρήσεις συμβατότητας είτε δεν παρέχουν δυνατότητα εκτίμησης του αρμονικού περιεχομένου. Ο χειρισμός του οργάνου και η καταγραφή των αποτελεσμάτων των μετρήσεων γίνεται απευθείας στην βασική μονάδα του.

Κατά την διεξαγωγή των μετρήσεων, ελήφθησαν σειρές τιμών της μαγνητικής επαγωγής («FS mode») και του ποσοστού έκθεσης («Exposure STD») σε κάθε θέση. Αναλυτικότερα, οι τιμές της έντασης μαγνητικού πεδίου είναι η rms τιμή των μετρούμενων τιμών έντασης μαγνητικού πεδίου σε κάθε άξονα. Η τιμή του ποσοστού έκθεσης παρουσιάζει το συνολικά μετρούμενο πεδίο ως ποσοστό των τιμών ανάληψης δράσης της Οδηγίας 2004/40/ EC, φιλτράροντας το σήμα σε όλο το συχνοτικό εύρος 5 Hz–32 kHz. Για το σκοπό αυτό, στο όργανο χρησιμοποιούνται φίλτρα τα οποία ακολουθούν την σχετική καμπύλη των ορίων σύμφωνα με τις κατευθυντήριες οδηγίες του 1998 για τους επαγγελματικά εκτιθέμενους της International Commission of Non Ionizing Radiation Protection, (ICNIRP) [4].

Στην παρούσα εργασία δεν αναφέρονται οι μετρήσεις της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, δεδομένου ότι ο αριθμός αυτών των μετρήσεων είναι μικρός και δεν θεωρείται επαρκής για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων. Οι θέσεις οι οποίες επιλέχθηκαν για την διεξαγωγή των μετρήσεων είναι οι θέσεις στις οποίες παραμένουν τον περισσότερο χρόνο κατά τη διάρκεια της βάρδιας οι εργαζόμενοι και ανταποκρίνονται σε ρεαλιστικές συνθήκες εργασίας. Κάθε σημείο μέτρησης επιλέχθηκε κατόπιν εκτενούς επισκόπησης στον χώρο ενδιαφέροντος, ώστε να είναι το σημείο στο οποίο η έκθεση είναι μέγιστη. Σε όλες τις περιπτώσεις πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις πλησίον εξοπλισμού μέσης (6 kV) και χαμηλής τάσης (0,4 kV), σε μετασχηματιστές διανομής και μετασχηματιστές διέγερσης, γεννήτριες, διακοπτικό εξοπλισμό και σε άλλες θέσεις εργασίας.

Χ. Γκόβαρη, Μ. Χριστοπούλου, Π. Τσαπρούνη, Ν. Σκαμνάκης, Ε. Καλαμπαλίκη, Δ. Κουτουνίδης, Χ. Τζουμανίκα, Α. Γιαλόφας, Ε. Καραμπέτσος, Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Γραφείο Μη Ιοντίζουσών Ακτινοβολιών

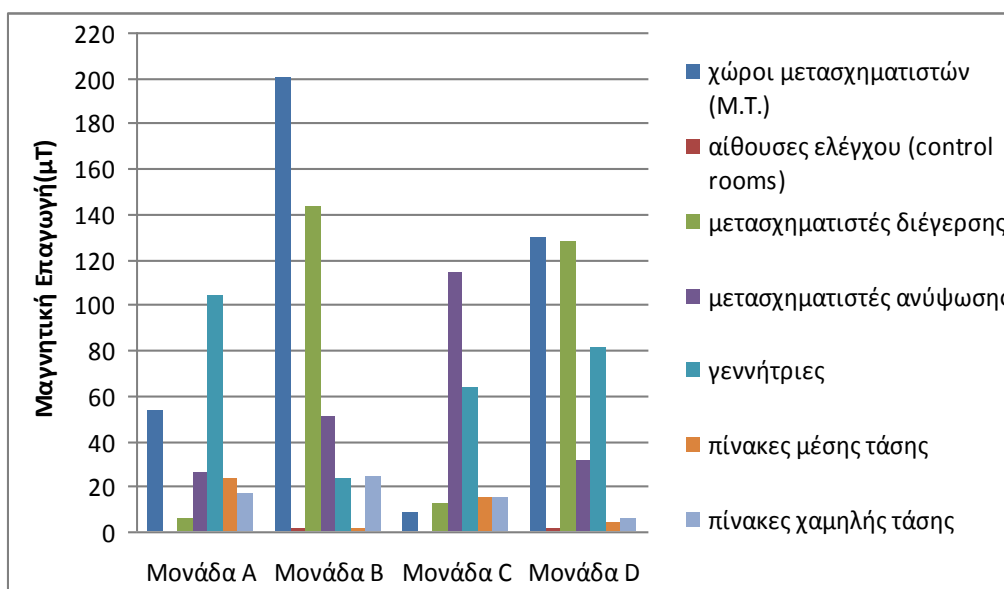
Αξιολόγηση της επαγγελματικής έκθεσης σε μαγνητικά πεδία σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα

#### 4. Αποτελέσματα μετρήσεων και σχολιασμός

Στο Σχήμα 1, παρουσιάζονται οι μετρηθείσες τιμές της μαγνητικής επαγωγής B ( $\mu\text{T}$ ) σε θέσεις εργασίας οι οποίες είναι κοινές και στις τέσσερις μονάδες (π.χ. πλησίον μετασχηματιστών διέγερσης και ανύψωσης, γεννήτριών, κτλ.).

Στην πλειονότητα των περιπτώσεων, οι τιμές δεν είναι συγκρίσιμες καθώς υπάρχουν διαφορές μεταξύ των εγκαταστάσεων και τα σημεία μέτρησης δεν ήταν δυνατόν να είναι πανομοιότυπα. Εντούτοις, για όλες μονάδες, παρατηρείται ότι οι χώροι με τη χαμηλότερη τιμή μαγνητικής επαγωγής είναι σταθερά οι αίθουσες ελέγχου και οι πίνακες μέσης και χαμηλής τάσης. Είναι επίσης σημαντικό να αναφερθεί ότι για τη μαγνητική επαγωγή, οι τιμές ανάληψης δράσης δεν υπερβαίνονται σε καμία περίπτωση.

Η διευρυμένη αβεβαιότητα των μετρήσεων (σε διάστημα εμπιστοσύνης 95%) υπολογίστηκε σε 5,5% για τις μετρήσεις της μαγνητικής επαγωγής και 6,3% για το ποσοστό έκθεσης. Θα πρέπει να αναφερθεί εδώ ότι η υπολογισθείσα αβεβαιότητα σε κάθε μέτρηση παρουσιάζει μικρές αποκλίσεις, αλλά οι ανωτέρω τιμές είναι αρκετά αντιπροσωπευτικές.



Σχήμα 1.-Τιμές της μαγνητικής επαγωγής B ( $\mu\text{T}$ ) σε θέσεις εργασίας

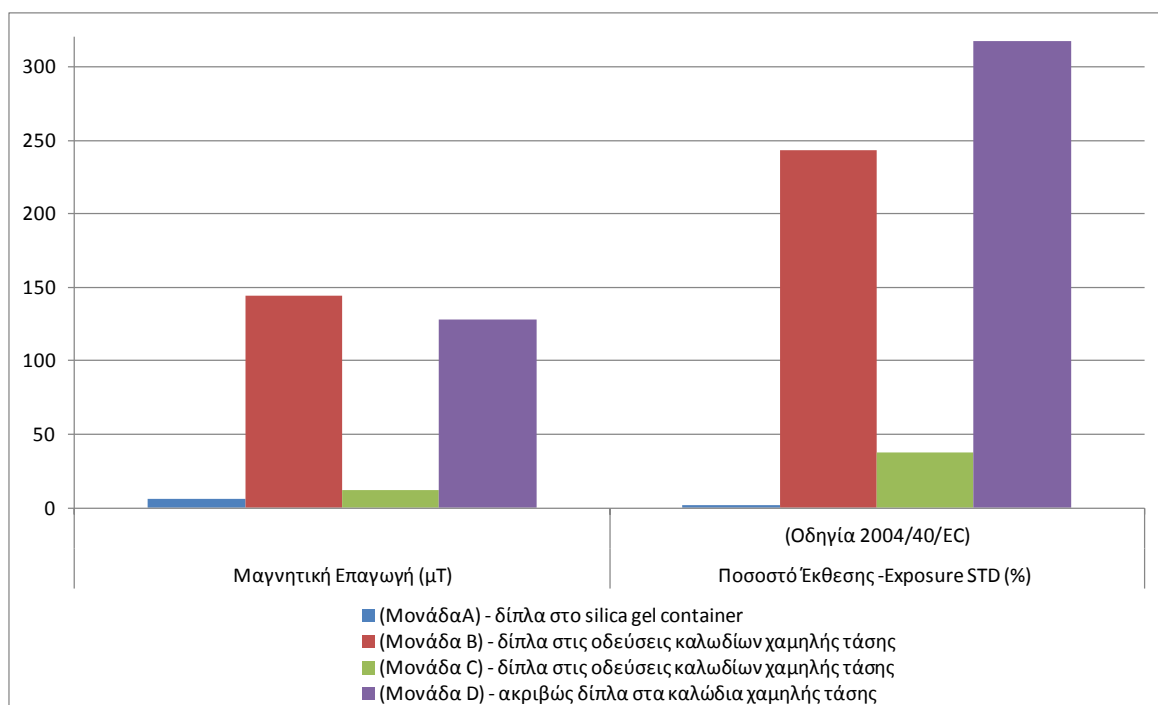
Επιπρόσθετα, ευρυζωνικές μετρήσεις και μετρήσεις του ποσοστού έκθεσης πραγματοποιήθηκαν σε κάθε σημείο μέτρησης. Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σε μία αντιπροσωπευτική θέση για όλες τις μονάδες. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι ενώ οι μετρήσεις της μαγνητικής επαγωγής είναι σαφώς μικρότερες των  $500 \mu\text{T}$ , τα υπολογιζόμενα ποσοστά έκθεσης υπερβαίνουν τα αντίστοιχα όρια πλησίον των καλωδίων χαμηλής τάσης τα οποία εξέρχονται από τους μετασχηματιστές διέγερσης. Η αρμονική ανάλυση σε αυτές τις περιπτώσεις αναδεικνύει ένα πλούσιο συχνοτικό περιεχόμενο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αρμονικής ανάλυσης απεικονίζεται στο Σχήμα 3. Οι μετρήσεις του ποσοστού έκθεσης λαμβάνουν υπόψη την παρουσία των αρμονικών συνιστωσών, συνεπώς παρέχουν μια πιο ρεαλιστική εικόνα της πραγματικής έκθεσης των

Χ. Γκόβαρη, Μ. Χριστοπούλου, Π. Τσαπρούνη, Ν. Σκαμνάκης, Ε. Καλαμπαλίκη, Δ. Κουτουνίδης, Χ. Τζουμανίκα, Α. Γιαλόφας, Ε. Καραμπέτσος, Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών

Αξιολόγηση της επαγγελματικής έκθεσης σε μαγνητικά πεδία σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα

εργαζομένων, δεδομένου ότι λαμβάνονται υπόψη και οι κορυφώσεις του μετρούμενου πεδίου στις αρμονικές συχνότητες της βασικής. Θα πρέπει να τονιστεί εδώ ότι το φαινόμενο παρατηρήθηκε κυρίως στο εγγύς περιβάλλον των μετασχηματιστών διέγερσης και πιο συγκεκριμένα πλησίον των καλωδίων χαμηλής τάσης τα οποία εξέρχονται από τους μετασχηματιστές. Παρατηρήθηκε και σε κάποιες άλλες περιπτώσεις, όπως πίνακες χαμηλής τάσης, φορτιστές, μπαταρίες κ.α., αλλά σε γενικές γραμμές, η βασική συχνότητα εντοπίστηκε στα 50 Hz.

Σε αυτό το σημείο, είναι σκόπιμο να αναφερθεί ότι όσον αφορά την μαγνητική επαγωγή, σε καμία από τις θέσεις εργασίας δεν παρουσιάζονται υπερβάσεις των τιμών ανάληψης δράσης όπως αυτά διατυπώνονται στην οδηγία 2004/40/EC (500μT για τα 50 Hz) και κατά συνέπεια το ίδιο ισχύει και για το αντίστοιχο αυστηρότερο όριο, (χαμηλή τιμή AL) της οδηγίας 2013/35/EC (1000 μT για τα 50 Hz). Όσον αφορά τις αντίστοιχες τιμές του ποσοστού έκθεσης, αν ληφθούν υπόψη τα αντίστοιχα αυστηρότερα όρια, (χαμηλή τιμή AL ανά συχνότητα) της νέας οδηγίας 2013/35/EC, επίσης δεν παρουσιάζονται υπερβάσεις.



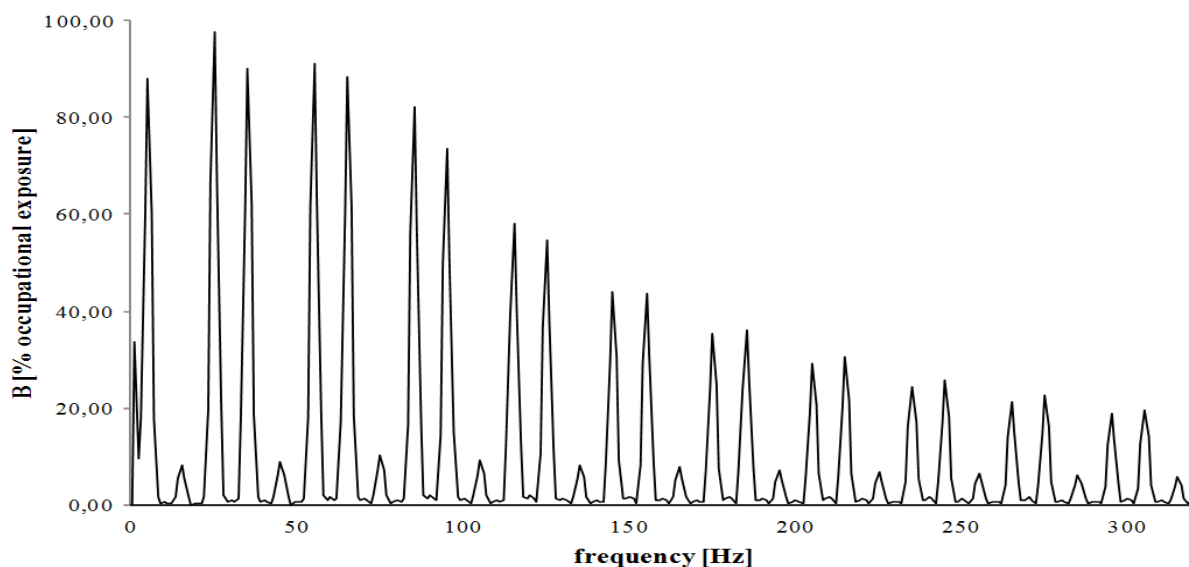
Σχήμα 2.-Αποτελέσματα μετρήσεων (μαγνητική επαγωγή και ποσοστό έκθεσης) σε αντιπροσωπευτικές θέσεις για όλες τις μονάδες

Προκειμένου να γίνει εκτίμηση κινδύνου στις θέσεις στις οποίες ενδέχεται να υπάρχει έκθεση των εργαζομένων σε ΗΜ πεδία, είναι απαραίτητο να διεξαχθούν αναλυτικές μετρήσεις των ηλεκτρικών και των μαγνητικών πεδίων στους χώρους εργασίας. Αν τα αποτελέσματα είναι κάτω από τις τιμές ανάληψης δράσης που ορίζονται στη σχετική οδηγία για κάθε περιοχή συχνοτήτων, δεν απαιτείται η λήψη μέτρων. Σε σύνθετες εγκαταστάσεις όπως οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη και οι μετρήσεις του ποσοστού έκθεσης σε συνδυασμό με τις μετρήσεις της μαγνητικής επαγωγής. Παράλληλα, είναι επίσης χρήσιμο να γίνεται και

Χ. Γκόβαρη, Μ. Χριστοπούλου, Π. Τσαπρούνη, Ν. Σκαμνάκης, Ε. Καλαμπαλίκη, Δ. Κουτουνίδης, Χ. Τζουμανίκα, Α. Γιαλόφας, Ε. Καραμπέτσος, Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών

Αξιολόγηση της επαγγελματικής έκθεσης σε μαγνητικά πεδία σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα

αρμονική ανάλυση του μετρούμενου πεδίου, καθώς αυτή καταδεικνύει την παρουσία αρμονικών συνιστωσών οι οποίες ευθύνονται για τις αυξημένες τιμές του ποσοστού έκθεσης σε αυτές τις περιπτώσεις [5]. Μετρήσεις που συνδυάζουν και τα δύο μεγέθη (μαγνητικής επαγωγής και ποσοστό έκθεσης), είναι ο πιο ενδεδειγμένος τρόπος προσέγγισης για τον προσδιορισμό της έκθεσης των εργαζομένων σε ανάλογες εγκαταστάσεις.



Σχήμα 3.-Αρμονική ανάλυση του συχνοτικού περιεχομένου στο περιβάλλον μετασχηματιστή διέγερσης, πλησίον των εξερχόμενων από αυτόν καλωδίων χαμηλής τάσης, σε μία από τις μονάδες παραγωγής.

Τα αποτελέσματα στην πλειονότητα των περιπτώσεων δείχνουν ότι οι τιμές ανάληψης δράσης δεν υπερβαίνονται. Εντούτοις, σε συγκεκριμένες θέσεις (π.χ. πλησίον μετασχηματιστών μέσης προς χαμηλή τάση, εντός των γεννητριών κ.α.), ενδέχεται να παρουσιάζονται υπερβάσεις των τιμών ανάληψης δράσης. Όπως φαίνεται στον Σχήμα 2, αυτό συμβαίνει σε θέσεις στις μονάδες Β και Δ. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι σκόπιμο να αποκλειστεί η πρόσβαση των εργαζομένων σε αποστάσεις μικρότερες του 1 μέτρου περιμετρικά των καλωδίων χαμηλής τάσης.

Η λογική της κατηγοριοποίησης των χώρων εργασίας δεν είναι να οριοθετηθούν αυστηρά οι περιοχές ή θέσεις στις οποίες ενδέχεται να υπάρχουν υπερβάσεις των ορίων. Αντίθετα, αυτές οι ζώνες μπορεί να αντιστοιχούν σε ήδη υπάρχουσες διακριτές περιοχές του εργασιακού χώρου. Για παράδειγμα, σε μια επιχείρηση μπορεί να υπάρχει χώρος με εξοπλισμό ο οποίος δημιουργεί υψηλές τιμές ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων, παρόλο που στον υπόλοιπο χώρο που καταλαμβάνει η επιχείρηση δεν υπάρχουν άλλες θέσεις με υπερβάσεις. Ο εργοδότης μπορεί για λόγους ασφαλείας, να αποκλείσει την πρόσβαση του κοινού σε αυτόν τον χώρο ή να τοποθετήσει προειδοποιητικές πινακίδες.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί (Σχήμα 4) παρουσιάζεται μια απλουστευμένη διαδικασία η οποία θα μπορούσε να ακολουθείται από τους εργοδότες προκειμένου να καθοριστούν ζώνες σε χώρους εργασίας. Οι ζώνες αυτές μπορούν να καθοριστούν ως εξής, σύμφωνα πάντα με την EN50499 [2]:

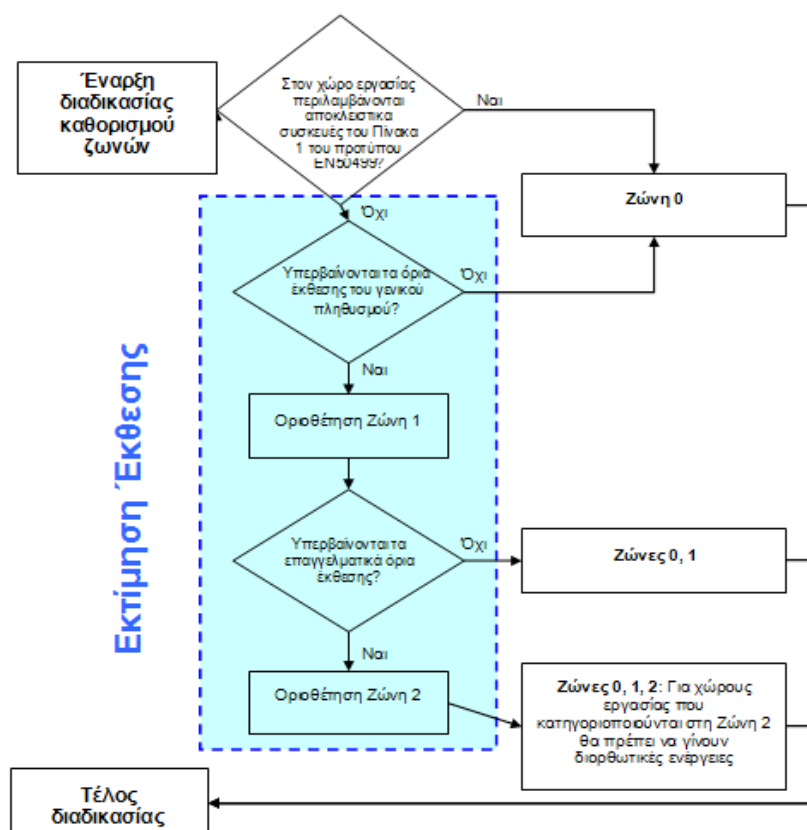
Χ. Γκόβαρη, Μ. Χριστοπούλου, Π. Τσαπρούνη, Ν. Σκαμνάκης, Ε. Καλαμπαλίκη, Δ. Κουτουνίδης, Χ. Τζουμανίκα, Α. Γιαλόφας, Ε. Καραμπέτσος, Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών

Αξιολόγηση της επαγγελματικής έκθεσης σε μαγνητικά πεδία σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα



- **Ζώνη 0:** Χώρος εργασίας όπου τα επίπεδα έκθεσης των εργαζομένων είναι σε κάθε περίπτωση χαμηλότερα από τις τιμές που καθορίζονται στην εθνική νομοθεσία για τον γενικό πληθυσμό, και ο εξοπλισμός στον χώρο εργασίας περιλαμβάνει αποκλειστικά συσκευές οι οποίες αναφέρονται στον πίνακα 1 του προτύπου EN50499 (π.χ. οθόνες υπολογιστών, ηλεκτρονικοί υπολογιστές, Wi-Fi κ.τ.λ.).
- **Ζώνη 1:** Η έκθεση των εργαζομένων στον χώρο εργασίας υπερβαίνει τις τιμές που καθορίζονται στην εθνική νομοθεσία για τον γενικό πληθυσμό αλλά όχι τις τιμές ανάλυσης δράσης της οδηγίας 2004/40/EC.
- **Ζώνη 2:** Η έκθεση των εργαζομένων στον χώρο εργασίας υπερβαίνει τις τιμές ανάλυσης δράσης της οδηγίας 2004/40/EC. Σε αυτήν την περίπτωση ο εργοδότης οφείλει να προβεί σε διορθωτικές ενέργειες ώστε να μειωθεί η έκθεση σε ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία ή θα πρέπει να αποκλειστεί η πρόσβαση.

Σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει σχετική εθνική νομοθεσία ή εκκρεμεί η υιοθέτηση της σχετικής οδηγίας (όπως στη χώρα μας), μια τέτοια προσέγγιση μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο για την προστασία ομάδων εργαζομένων οι οποίες πιθανώς αντιμετωπίζουν κινδύνους από τις επιδράσεις των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων.



Σχήμα 4.-Αλγόριθμός της διαδικασίας για την εκτίμηση έκθεσης με καθορισμό ζωνών σε χώρους εργασίας.

Χ. Γκόβαρη, Μ. Χριστοπούλου, Π. Τσαπρούνη, Ν. Σκαμνάκης, Ε. Καλαμπαλίκη, Δ. Κουτουνίδης, Χ. Τζουμανίκα, Α. Γιαλόφας, Ε. Καραμπέτσος, Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών

Αξιολόγηση της επαγγελματικής έκθεσης σε μαγνητικά πεδία σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα

## 5. Συμπεράσματα

Στο πλαίσιο της εργασίας παρουσιάστηκαν συγκριτικές μετρήσεις σε τέσσερις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η πληρέστερη μέθοδος εκτίμησης της έκθεσης των εργαζομένων είναι συνδυαστικές μετρήσεις της μαγνητικής επαγωγής και του ποσοστού έκθεσης (% επί των θεσμοθετημένων ορίων) των εργαζομένων. Το γεγονός ότι υπάρχουν αρκετές τοπολογικές ομοιότητες μεταξύ διαφορετικών μονάδων, θα μπορούσε να αποτελέσει τη βάση για μια προσέγγιση του ζητήματος της εκτίμησης του κινδύνου των εργαζομένων η οποία θα ορίζει περιοχές/ζώνες σε δομικά παρεμφερείς εγκαταστάσεις. Στις περιοχές/ζώνες στις οποίες προκύπτει από τα αποτελέσματα των μετρήσεων ότι η έκθεση των εργαζομένων είναι αυξημένη, θα μπορούσαν να προταθούν προληπτικά μέτρα όπως: ενημέρωση, ειδική εκπαίδευση του προσωπικού, ειδική σήμανση, περιορισμός πρόσβασης. Ο προσδιορισμός τέτοιων περιοχών/ζωνών, απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση η οποία περιλαμβάνει πιο εκτεταμένες μετρήσεις σε μονάδες παρόμοιου τύπου και μεγέθους και υπό παρόμοιες συνθήκες λειτουργίας.

## Αναφορές

1. DIRECTIVE 2013/35/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields) (20th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC) and repealing Directive 2004/40/EC. of 26 June 2013
2. EN50499:2008, Procedure for the assessment of the exposure of workers to electromagnetic fields.
3. Directive 2004/40/EC of the European Parliament and of the Council Official-18th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC, Journal of the European Union, OJEC L 184/1, 24 April 2004.
4. International Commission on Non Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), Guidelines for limiting exposure to time – varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz), Health Physics, Vol. 74, No 4, April 1998, pp 494 – 522.
5. International Commission on Non Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), Guidelines for limiting exposure to time – varying electric and magnetic fields (1Hz-100kHz), Health Physics, Vol. 99, No 6, 2010, pp 818 – 836.

Χ. Γκόβαρη, Μ. Χριστοπούλου, Π. Τσαπρούνη, Ν. Σκαμνάκης, Ε. Καλαμπαλίκη, Δ. Κουτουνίδης, Χ. Τζουμανίκα, Α. Γιαλόφας, Ε. Καραμπέτσος, Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών

Αξιολόγηση της επαγγελματικής έκθεσης σε μαγνητικά πεδία σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα