ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΣΕ ΠΑΡΚΑ ΚΕΡΑΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΓΙΑ ΤΑ ΕΤΗ 2010-2016

Μ. Χριστοπούλου, Χ. Γκόβαρη, Α. Γιαλόφας, Ε. Καλαμπαλίκη, Η. Καραστέργιος, Δ. Κουτουνίδης, Θ. Κυρίτση, Α. Σκαμνάκης, Χ. Τζουμανίκα, Π. Τσαπρούνη, Δ. Τσαρούχας και Ε. Καραμπέτσος
Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ), Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών
Πατριάρχου Γρηγορίου και Νεαπόλεως, Αγία Παρασκευή, Τ.Θ. 60092, Τ.Κ. 15310
email: maria.christopoulou@eeae.gr

Περίληψη

Η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ), στο πλαίσιο των αρμοδιοτήτων της, ελέγχει, αυτεπαγγέλτως ή κατόπιν αιτήματος, την τήρηση των ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Συνολικά, κατά τα έτη 2010-2016 πραγματοποιήθηκαν, μεταξύ άλλων, έλεγχοι σε 55 πάρκα κεραιών στην Ελλάδα. Ως πάρκο κεραιών ορίζεται ένας οριοθετημένος ή μη, χώρος εκτός αστικού ιστού, στον οποίο υπάρχει μεγάλος αριθμός και πυκνότητα ενεργών κεραιοδιατάξεων εκπομπής σήματος ραδιοφώνου, τηλεόρασης, ραντάρ, κινητής τηλεφωνίας, κ.α. Στην παρούσα εργασία, παρουσιάζεται, για πρώτη φορά, η συγκεντρωτική επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων από 143 ελέγχους σε πάρκα κεραιών σε όλη τη χώρα, με στόχο την αντιπαραβολή τους με τα θεσμοθετημένα όρια για τον χαρακτηρισμό της έκθεσης του γενικού πληθυσμού και την ενδεχόμενη λήψη μέτρων προφύλαξης αυτού. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων αφορά, μεταξύ άλλων, την τιμή του συνολικού λόγου έκθεσης της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου (Ε) στην εκάστοτε δυσμενέστερη – από πλευράς έντασης ηλεκτρικού πεδίου – θέση μέτρησης. Στόχος της εργασίας είναι η συγκεντρωτική απεικόνιση των δεδομένων που προκύπτουν από τις επιτόπιες μετρήσεις, για την ανάδειξη συμπερασμάτων πανελλαδικής κλίμακας, που αναφέρονται στα έτη 2010-2016 και σχετίζονται με τα επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στους ελεύθερα προσβάσιμους από το κοινό χώρους εντός πάρκων κεραιών. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιούνται βασικά εργαλεία στατιστικής ανάλυσης, βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων και παραγόντων ταξινόμησης, όπως το έτος και οι ζώνες συχνοτήτων/υπηρεσίες (FM, TV κ.α). Από τα δεδομένα προκύπτει ότι το 64% των μετρήσεων αντιστοιχεί σε τιμές έντασης ηλεκτρικού πεδίου χαμηλότερες από 20 V/m, ενώ στο 53% των υπό μέτρηση πάρκων προκύπτει υπέρβαση ή πιθανή υπέρβαση των ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού, έστω και για ένα έτος, σε καλώς οριοθετημένες από την ΕΕΑΕ περιοχές. Διαπιστώνεται ότι οι πιθανές αλλαγές στην τοπολογία των περιοχών αυτών συσχετίζονται με τις πιθανές αλλαγές στα τεχνικά χαρακτηριστικά λειτουργίας των εγκατεστημένων κεραιοδιατάξεων, ανά έτος.

Λέξεις-Κλειδιά: πάρκο κεραιών, ηλεκτρομαγνητικά πεδία, επίπεδα αναφοράς, λόγος έκθεσης, γενικός πληθυσμός

Μ. Χριστοπούλου, Χ. Γκόβαρη, Α. Γιαλόφας, Ε. Καλαμπαλίκη, Η. Καραστέργιος, Δ. Κουτουνίδης, Θ. Κυρίτση, Α. Σκαμνάκης, Χ. Τζουμανίκα, Π. Τσαπρούνη, Δ. Τσαρούχας και Ε. Καραμπέτσος
Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ)
Αξιολόγηση των επιπέδων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε πάρκα κεραιών στην Ελλάδα για τα έτη 2010-2016
7ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας
Αθήνα, 11-12 Μαΐου 2018

Abstract

Greek Atomic Energy Commission (EEAE), in the context of its statutory responsibilities, measures human exposure to electromagnetic fields (EMF) and check the compliance to the legislated exposure limits, ex officio or upon request by any person or entity. From 2010 to 2016, the Non-Ionizing Radiation Office of EEAE has conducted in situ measurements in the environment of 55 antenna parks in Greece. An 'antenna park' is defined as a delimited (or not) non-urban space, where there is a large number and density of active radio, television and mobile communications broadcasting antennas, radars, e.t.c. In the present work, for the first time, 143 measurement data in antenna parks across the country are being analyzed in order to compare them to the reference levels for characterizing the general public exposure and taking safety measures, where necessary. Among others, the results' presentation include the total exposure ratio referring to electric field (E) value at the worst-scenario exposure position. The scope of the paper is the year analysis of the in-situ measurement data, in order to derive nationwide conclusions for the years 2010-2016, characterizing the general public's exposure to high frequency electromagnetic fields, in the free-access areas to the general public of the antenna parks. Basic statistical analysis is applied to assist the presentation and evaluation of the data, based on selected criteria and classification parameters, including the year and the frequency selected services (FM, TV etc.). The data show that 64% of the measurements correspond to electric field values below 20 V/m, while 53% of the measured antenna parks exceeds or possibly exceeds the general public reference levels, even in one year, in well-defined areas by EEAE. It is noted that possible changes in the topology of these areas are correlated with the possible changes in the technical characteristics of the installed antennas, per year.

Keywords: antenna park, electromagnetic exposure, reference levels, exposure ratio, general public

1. Εισαγωγή

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ) θεωρεί υψηλής προτεραιότητας την αποτίμηση των επιπέδων έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία (ΗΜΠ) ραδιοσυχνοτήτων (ΡΣ), λόγω των αλλαγών στις καθιερωμένες τεχνολογίες. Παρόλο που στη διεθνή βιβλιογραφία, αναφέρεται πλήθος δημοσιευμένων εργασιών οι οποίες παρουσιάζουν τα επίπεδα της έκθεσης στο αστικό περιβάλλον λόγω μεγάλου αριθμού επιτόπιων ελέγχων (π.χ. [Joseph et al. 2010], [Joyner et al. 2014]), δεν υπάρχει συστηματικός έλεγχος των κέντρων εκπομπής, δεδομένου ότι οι χώροι αυτοί δεν είναι κατά βάση προσβάσιμοι από το κοινό, η τοποθέτηση των κεραιοδιατάξεων και των ιστών στήριξής τους είναι σαφώς ορισμένη και δεν μεταβάλλεται μόνο κατόπιν συνολικής συνεκτίμησης των επιπέδων ΗΜ ακτινοβολίας στον περιβάλλοντα χώρο.

Η παρούσα εργασία αποτελεί την πρώτη συγκεντρωτική ανάλυση, ανά έτος, των δεδομένων επιτόπιων μετρήσεων που έχουν διεξαχθεί σε πάρκα κεραιών στην Ελλάδα, για την περίοδο 2010-2016. Ως πάρκο κεραιών ορίζεται ένας οριοθετημένος ή μη, χώρος

εκτός αστικού ιστού, στον οποίο υπάρχει μεγάλος αριθμός και πυκνότητα ενεργών κεραιοδιατάξεων εκπομπής σήματος ραδιοφώνου, τηλεόρασης, ραντάρ, κινητής τηλεφωνίας, κ.α. Στη Ελλάδα, οι χώροι του πάρκου στις περισσότερες περιπτώσεις είναι δυστυχώς ελευθέρως προσβάσιμοι από το κοινό. Επίσης, η τοπολογία των ιστών στήριξης των κεραιοδιατάξεων, το σχετικό ύψος τοποθέτησής τους και ο αριθμός των ενεργών παρόχων δεν είναι πάντοτε σαφώς ορισμένα και μεταβάλλονται, σχετικά εύκολα, χωρίς σχετική ενημέρωση των αρχών. Για αυτούς τους λόγους, ο συνεχής περιοδικός έλεγχος των επιπέδων έκθεσης σε ΗΜΠ εντός του περιβάλλοντος των πάρκων, μέσω επιτόπιων μετρήσεων κρίνεται επιτακτικός, ώστε να διασφαλίζονται τιμές ΗΜΠ εντός των επιτρεπόμενων ορίων.

Οι ευρυζωνικές και συχνοεπιλεκτικές επιτόπιες μετρήσεις των ΗΜΠ, διεξήχθησαν από κλιμάκια του Γραφείου Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών της Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ). Τα δεδομένα των μετρήσεων, η προκαταρτική τους ανάλυση και η σύγκρισή τους με τα όρια έκθεσης του κοινού όπως αυτά ορίζονται στην κείμενη νομοθεσία, βρίσκονται ανηρτημένα στην επίσημη ιστοσελίδα της ΕΕΑΕ, επιτρέποντας έτσι την πρόσβαση του κοινού στα δεδομένα αυτά [ΕΕΑΕ, 2017].

2. Όρια ασφαλούς έκθεσης του κοινού

Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία, τα όρια ασφαλούς έκθεσης του κοινού ορίζονται στο Νόμο 4070/2012 (παρ. 9-10, άρθρο 30, ΦΕΚ 82/Α/10-4-2012) με θέμα «Ρυθμίσεις Ηλεκτρονικών Επικοινωνιών, Μεταφορών, Δημοσίων Έργων και άλλες διατάξεις» και στα άρθρα 2-4 της υπ' αριθ. 53571/3839 (ΦΕΚ 1105/Β/6-9-2000) Κοινής Απόφασης των Υπουργών Ανάπτυξης, Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, Υγείας και Πρόνοιας, Μεταφορών και Επικοινωνιών, με θέμα «Μέτρα προφύλαξης του κοινού από την λειτουργία κεραιών εγκατεστημένων στην ξηρά». Η προαναφερθείσα Κ.Υ.Α. βασίστηκε στη Σύσταση του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης Ε.Ε., L 199 (1999/519/EC), 30-7-1999, «Σχετικά με τον περιορισμό της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία 0 Hz - 300 GHz».

Αξίζει να τονιστεί ότι τα όρια ασφαλούς έκθεσης του κοινού στην Ελλάδα θεωρούνται ότι αντιστοιχούν στο 70% των τιμών της προαναφερθείσας Σύστασης της Ε.Ε., εισάγοντας ένα πρόσθετο συντελεστή ασφαλείας. Επίσης, ειδικά σε περίπτωση εγκατάστασης κατασκευής κεραίας σε απόσταση μέχρι 300 μέτρων από την περίμετρο κτιριακών εγκαταστάσεων βρεφονηπιακών σταθμών, σχολείων, γηροκομείων και νοσοκομείων, προβλέπεται περαιτέρω μείωση των ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού (παρ. 10, άρθ. 30 του Νόμου 4070), καθώς αυτά απαγορεύεται να υπερβαίνουν το 60% των αντίστοιχων τιμών της Ε.Ε. Στην παρούσα εργασία, δεδομένου ότι αναφερόμαστε σε εκτός αστικού ιστού περιοχές, η σύγκριση των μετρούμενων τιμών γίνεται με τα επίπεδα αναφοράς της ελληνικής νομοθεσίας που υπολογίζονται στο 70% των τιμών της προαναφερθείσας Σύστασης της Ε.Ε. και ενδεικτικά αντιστοιχούν σε 23.4 V/m (στη ζώνη συχνοτήτων 10-400 MHz), 32.5 V/m (800 MHz), 48.8 V/m (1800 MHz) και 51.0 V/m (στη ζώνη συχνοτήτων 2-300 GHz) για την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (Ε).

Σημειώνεται ότι για τη στάθμιση της επιβάρυνσης στην έκθεση του κοινού από μια διάταξη ή διατάξεις που λειτουργούν σε μια στενή περιοχή συχνοτήτων, χρησιμοποιείται ένας καθαρός αριθμός που ονομάζεται λόγος έκθεσης. Ανάλογα με τις συνθήκες έκθεσης υφίστανται περισσότεροι από ένας λόγοι έκθεσης που υπολογίζονται με διαφορετικό τρόπο. Για συχνότητες μεγαλύτερες των 10 MHz, ο συνηθέστερα χρησιμοποιούμενος λόγος έκθεσης λ υπολογίζεται βάσει της ενεργού τιμής των μετρήσεων της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου E (V/m) ή της ενεργού τιμής των μετρήσεων της έντασης του μαγνητικού πεδίου H (A/m) ή της μέσης τιμής της πυκνότητας ισοδύναμου επίπεδου κύματος P (W/m^2), σε μια συχνότητα στην οποία τα επίπεδα αναφοράς (μετά την εφαρμογή του προβλεπόμενου συντελεστή μείωσης 70%) είναι L_E, L_H και L_P, αντίστοιχα.

$$\lambda = \frac{E^2}{L_E{}^2} = \frac{H^2}{L_H{}^2} = \frac{P}{L_P} \qquad (1)$$

3. Εξοπλισμός και μεθοδολογία μέτρησης

Για τις συχνοεπιλεκτικές μετρήσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, χρησιμοποιήθηκαν τα συστήματα SRM (3000 και 3006) της εταιρείας Narda-STS. Το κάθε σύστημα SRM αποτελείται από μια βασική μονάδα – φασματικό αναλυτή (στις περιοχές συχνοτήτων από 100 kHz – 3 GHz για το SRM-3000 και 9 kHz – 6 GHz για το SRM-3006) στην οποία μπορεί να συνδέεται ισοτροπική κεραία ηλεκτρικού πεδίου υψηλών συχνοτήτων E-field antenna της ίδιας εταιρείας απευθείας ή μέσω RF καλωδίου επέκτασης. Το άμεσα μετρούμενο μέγεθος είναι η ένταση ηλεκτρικού πεδίου (E) σε V/m από το οποίο υπολογίζονται οι λόγοι έκθεσης στις οριζόμενες από το χρήστη φασματικές περιοχές-ζώνες συχνοτήτων, καθώς και ο συνολικός λόγος έκθεσης σε όλη την περιοχή συχνοτήτων λειτουργίας του εκάστοτε χρησιμοποιούμενου ανιχνευτή (27 MHz – 3 GHz).

Σε κάθε υπό εξέταση χώρο, πραγματοποιήθηκε αρχικά μια ευρυζωνική επισκόπηση, με σκοπό τον εντοπισμό της θέσης ή των θέσεων που παρατηρούνται οι τοπικά μέγιστες τιμές. Στις θέσεις αυτές οι μετρήσεις λήφθηκαν με την εξής διαδικασία: η κεραία συνδέεται μέσω RF καλωδίου επέκτασης μήκους 1,5 μ στη βασική μονάδα του συστήματος SRM. Κατόπιν με τη χρήση του ειδικού τριπόδου, η κεραία τοποθετείται στα τρία σημεία μέτρησης που απέχουν από το έδαφος 170, 150 και 110 cm. Κατά τη διαδικασία αυτή καταγράφονται οι λόγοι έκθεσης $\lambda_{i,f}$ για κάθε σημείο μέτρησης i και για κάθε φασματική περιοχή f, όπως αυτή έχει εκχωρηθεί στην Ελλάδα και χρησιμοποιείται για την ανάλυση των μετρούμενων πεδίων, ανά υπηρεσία. Ο λόγος έκθεσης λ_f στην εκάστοτε φασματική περιοχή f, από τις μετρήσεις στα τρία (3) σημεία μέτρησης, υπολογίστηκε ως ο μέσος όρος των $\lambda_{i,f}$

$$\lambda_f = \frac{1}{3}\sum_{i=1}^{3} \lambda_{i,f} \qquad (2)$$

Στις περιπτώσεις πολλαπλών εκπομπών, υπολογίζεται ο συνολικός λόγος έκθεσης Λ στη κάθε θέση μέτρησης ως το άθροισμα των λόγων έκθεσης λ_f σε όλες τις φασματικές περιοχές f

$$\Lambda = \sum_f \lambda_f \qquad (3)$$

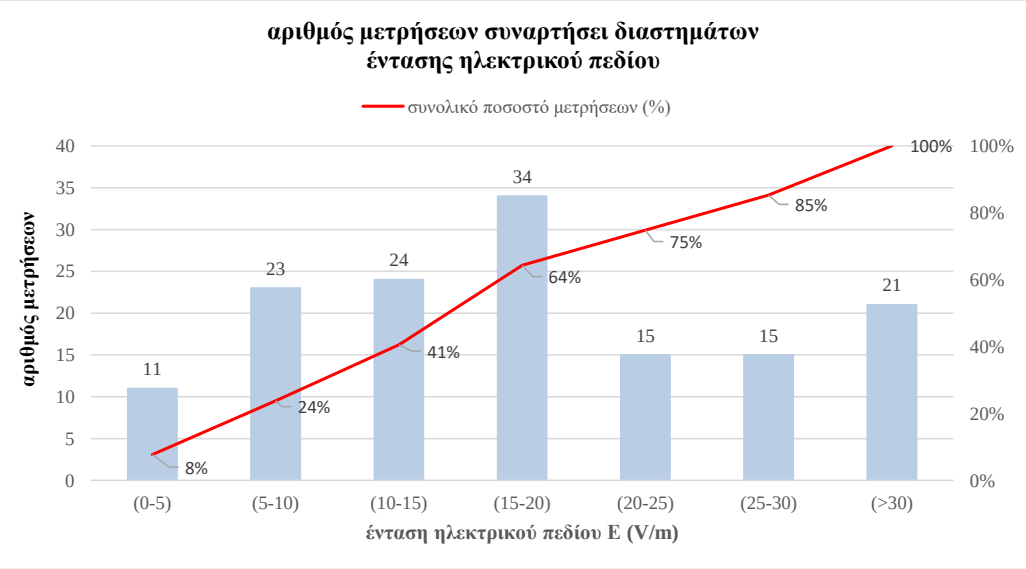
Η μέγιστη τιμή του συνολικού λόγου έκθεσης Λ είναι προφανώς 1, που αντιστοιχεί στο 100% των ορίων, τα οποία στο πλαίσιο της εργασίας τίθενται στο 70% των αντίστοιχων τιμών της Ε.Ε. Η διευρυμένη αβεβαιότητα για το συνολικό λόγο έκθεσης U(Λ) προκύπτει συνυπολογίζοντας τις αβεβαιότητες τύπου Α (επίδραση της εγγύτητας του χειριστή, μεταβολών των πηγών εκπομπής, κ.α.) και Β (στοιχεία που δίνονται από τον κατασκευαστή του εξοπλισμού, κ.α.) [Stratakis et al. 2009]. Έτσι, το αποτέλεσμα της μέτρησης είναι το 95% διάστημα εμπιστοσύνης ($\Lambda_{2,5\%} = \Lambda - U(\Lambda)$, $\Lambda_{97,5\%} = \Lambda + U(\Lambda)$). Η σύγκριση των άκρων του διαστήματος αυτού με τη μονάδα (ή το 100%) καθορίζει εάν τηρούνται τα όρια έκθεσης ($\Lambda_{97,5\%} < 100\%$), αν είναι πιθανό να υπερβαίνονται ($\Lambda_{2,5\%} < 100\%$ και $\Lambda_{97,5\%} > 100\%$) ή αν υπερβαίνονται τα όρια έκθεσης ($\Lambda_{2,5\%} > 100\%$).

4. Περιγραφή των δεδομένων μέτρησης

Τα δεδομένα μέτρησης προέκυψαν από 143 επιτόπιους ελέγχους των επιπέδων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, στο περιβάλλον 55 πάρκων κεραιών για την αποτίμηση της έκθεσης του γενικού πληθυσμού. Ως πάρκο κεραιών ορίζεται ένας οριοθετημένος ή μη, χώρος εκτός αστικού ιστού, στον οποίο υπάρχει μεγάλος αριθμός και πυκνότητα ενεργών κεραιοδιατάξεων εκπομπής σήματος ραδιοφώνου, τηλεόρασης, ραντάρ, κινητής τηλεφωνίας, κ.α. Κάθε έλεγχος διενεργείται μέσω μετρήσεων σε πέντε τουλάχιστον θέσεις στο περιβάλλον του πάρκου, και δεδομένου του πλήθους των κεραιοδιατάξεων που απαντώνται στα πάρκα, ελήφθησαν δεδομένα μετρήσεων που προέρχονται από περισσότερες των 715 (5 × 143) θέσεων στο περιβάλλον των πάρκων. Τα δεδομένα μέτρησης αναλύονται βάσει παραμέτρων που περιλαμβάνουν: i) έτος, ii) ζώνες συχνοτήτων λειτουργίας υπηρεσιών (FM, VHF, TETRA, UHF TV, GSM 900, DCS 1800, UMTS, Wi-Fi/radar), iii) το πλήθος των υπερβάσεων των ορίων έκθεσης του κοινού. Σε κάθε μέτρηση, καταγράφονται, εκτός από τα τοπικά και χρονικά δεδομένα, οι τιμές της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου E (V/m), της πυκνότητας ισχύος P (W/m^2) και του συνολικού λόγου έκθεσης. Τα δεδομένα των μετρήσεων που παρουσιάζονται στη συνέχεια, αφορούν στη δυσμενέστερη (αριθμητικά μεγαλύτερη) - από πλευράς έντασης ηλεκτρικού πεδίου, θέση μέτρησης του εκάστοτε ελέγχου. Συνεπώς, στο εξής, το σύνολο των μετρήσεων που θα παρουσιαστεί αντιστοιχεί στις 143 «δυσμενέστερες» θέσεις των ελέγχων, στις οποίες μετρήθηκαν οι αριθμητικά μεγαλύτερες τιμές των αναφερόμενων μεγεθών. Αξίζει να αναφερθεί ότι από το σύνολο των 55 πάρκων κεραιών, τα 13 (24%) έχουν ελεγχθεί μόνο μία φορά, ενώ τα υπόλοιπα 42 (76%) περισσότερες από μία φορές (από 2 ως 7 φορές). Ειδικά, για τα πάρκα στα οποία από τα δεδομένα μετρήσεων έχει προκύψει υπέρβαση ή πιθανή υπέρβαση των επιπέδων αναφοράς, γίνεται συσχέτιση της τοπολογίας των εκάστοτε οριοθετημένων από την ΕΕΑΕ περιοχών υπέρβασης ή πιθανής υπέρβασης των ορίων έκθεσης του κοινού με τις πιθανές αλλαγές στα τεχνικά χαρακτηριστικά λειτουργίας των εγκατεστημένων κεραιοδιατάξεων, ανά έτος.

5. Αποτελέσματα

Στο σύνολο των μετρήσεων, η μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, της πυκνότητας ισχύος και του συνολικού λόγου έκθεσης υπολογίζεται αντίστοιχα: *E = 18,51 (τυπική απόκλιση σ: 11,13)* V/m, *P = 1,23 (σ: 1,46)* W/m^2 και *Λ = 0,89 (σ: 1,07)*. Το Σχήμα 1 απεικονίζει το πλήθος των μετρήσεων, στις οποίες η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου λαμβάνει τιμή εντός των επιλεγμένων διαστημάτων: 0-5 V/m, 5-10 V/m, 10-15 V/m, 15-20 V/m, 20-25 V/m, 25-30 V/m, >30 V/m, καθώς και το αθροιστικό ποσοστό των μετρήσεων για κάθε διάστημα. Στο Σχήμα 1, παρατηρείται ότι το 64% των μετρήσεων αντιστοιχεί σε τιμές έντασης ηλεκτρικού πεδίου χαμηλότερες από 20 V/m, τιμή κατά τι μικρότερη από την τιμή που αντιστοιχεί στο 70% (αυστηρότερο όριο: 23,4 V/m για το συχνοτικό φάσμα των FM, υπηρεσία που απαντάται σχεδόν πάντα στα πάρκα) των επιπέδων αναφοράς της Ε.Ε. (Ελληνική Νομοθεσία). Παρ' όλα αυτά, λαμβάνοντας υπόψη και την διευρυμένη αβεβαιότητα των μετρήσεων, μέρος των μετρήσεων αυτών αντιστοιχεί σε υπέρβαση ή πιθανή υπέρβαση, όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια. Επίσης, είναι σαφές ότι συγκρίνοντας τα επιλεγμένα διαστήματα τιμών, στο διάστημα 15-20 V/m αντιστοιχεί το μεγαλύτερο πλήθος μετρήσεων, γεγονός που φανερώνει το 24% του συνόλου των μετρήσεων που αντιστοιχεί στο διάστημα αυτό.



Σχήμα 1: Κατανομή και αθροιστικό ποσοστό των μετρήσεων εντός επιλεγμένων διαστημάτων έντασης ηλεκτρικού πεδίου.

Διαχωρίζοντας για κάθε έτος, το πλήθος των μετρήσεων, ο Πίνακας 2 συνοψίζει τη μέση τιμή, τη διάμεσο και την τυπική απόκλιση του συνολικού λόγου έκθεσης. Αξίζει να αναφερθεί ότι η μέση τιμή του συνολικού λόγου έκθεσης δεν είναι ενδεικτική της συνολικής έκθεσης. Η μεγάλη διακύμανση των τιμών, γεγονός που καταδεικνύεται από τις υψηλές τιμές της τυπικής απόκλισης (συγκρίσιμη ή μεγαλύτερη από τη μέση τιμή) οδηγεί σε υπολογισμό μέσης τιμής του συνολικού λόγου έκθεσης η οποία αντιστοιχεί σε δυσμενέστερη εικόνα έκθεσης, σε σχέση με τη συντριπτική πλειονότητα των τιμών. Για το λόγο αυτό, υπολογίζεται και η διάμεσος (*median*) του δείγματος των μετρήσεων, η

οποία είναι η τιμή που διαιρεί την κατανομή των μετρήσεων σε δύο ίσα μέρη, όταν οι τιμές τοποθετηθούν σε αύξουσα σειρά.

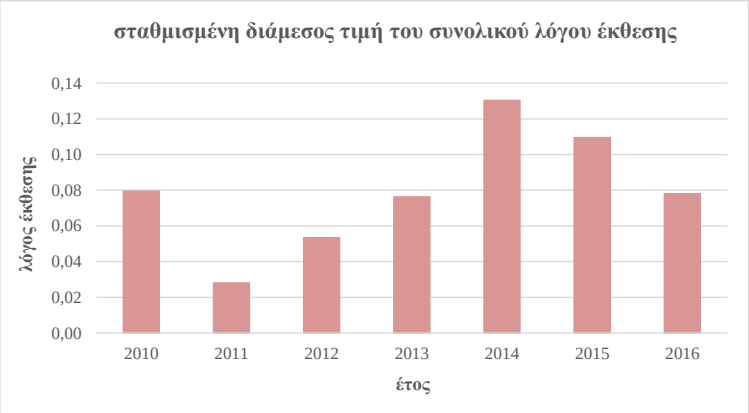
Πίνακας 2: Συνοπτικά αποτελέσματα του συνολικού λόγου έκθεσης Λ ανά έτος

έτος	**πλήθος μετρήσεων**	**μέση τιμή συνολικού λόγου έκθεσης Λ (Λ_{μ})**	**διάμεσος συνολικού λόγου έκθεσης Λ (Λ_{δ})**	**τυπική απόκλιση συνολικού λόγου έκθεσης Λ ($\Lambda_{\tau\alpha}$)**
2010	24	1,0002	0,4942	1,4178
2011	8	0,8034	0,5023	0,7995
2012	16	0,6136	0,5083	0,6689
2013	26	0,6749	0,4363	0,7649
2014	34	0,9550	0,5824	1,0940
2015	24	1,2488	0,7458	1,3754
2016	21	0,7911	0,5874	0,8126

Ο αριθμός των μετρήσεων ανά έτος είναι 23 (για το έτος 2010), 8 (2011), 15 (2012), 25 (2013), 32 (2014), 21 (2015) και 19 (2016). Δεδομένης της δυσαναλογίας στον αριθμό των μετρήσεων ανά έτος, παρουσιάζεται στη συνέχεια η σταθμισμένη τιμή της διαμέσου ανά έτος. Έστω A το συνολικό πλήθος των μετρήσεων και α το αντίστοιχο πλήθος στο υπό μελέτη έτος, τότε η σταθμισμένη διάμεσος τιμή του συνολικού λόγου έκθεσης Λ_{σ} ορίζεται ως εξής:

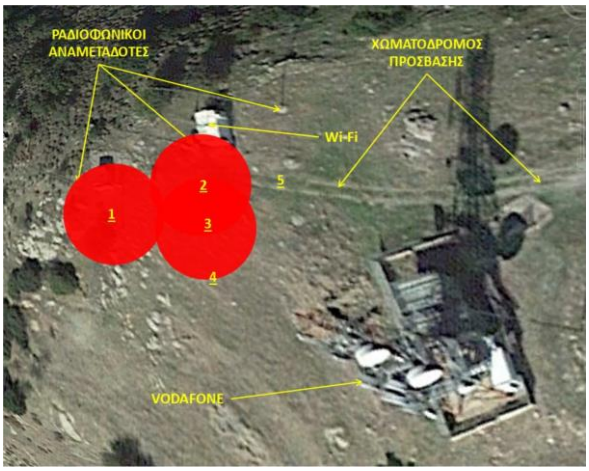
$$\Lambda_{\sigma} = \frac{\alpha}{A}\Lambda_{\delta} \qquad (4)$$

Το Σχήμα 3 απεικονίζει την κατά έτος σταθμισμένη διάμεσο του συνολικού λόγου έκθεσης. Προκύπτει ότι η ανοδική τάση της σταθμισμένης διαμέσου του λόγου έκθεσης που σημειώνεται μετά το έτος 2011, φαίνεται να αναστέλλεται μετά το έτος 2015, οπότε και ολοκληρώθηκε η μετάβαση της ελληνικής τηλεόρασης στην ψηφιακή τεχνολογία. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην πλειονότητα των μετρήσεων η κύρια συνεισφορά στο συνολικό λόγο έκθεσης προκύπτει από τους ραδιοφωνικούς αναμεταδότες, με αποτέλεσμα μετά την ολοκλήρωση της επίγειας ψηφιακής ραδιοφωνικής ευρυεκπομπής, η αναμενόμενη μείωση τα επόμενα έτη να προβλέπεται σημαντική [Gkonis et al. 2017].

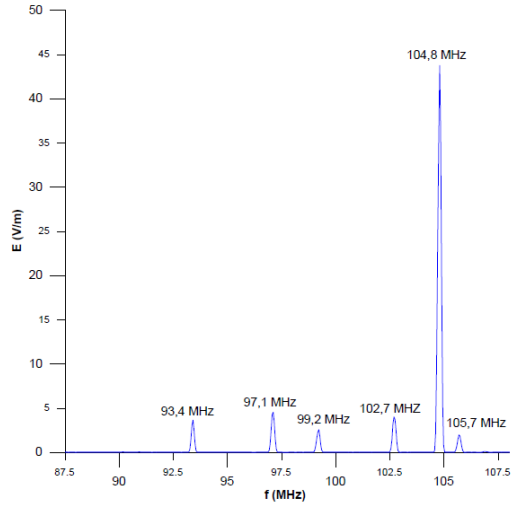


Σχήμα 3: Συγκριτική παρουσίαση της σταθμισμένης διαμέσου, ανά έτος

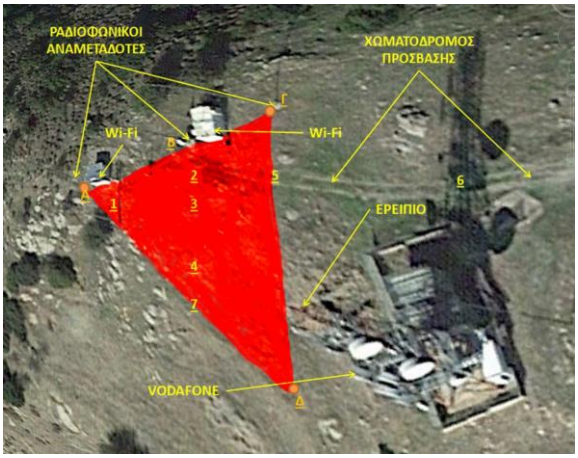
Όσον αφορά στις υπηρεσίες (TV, FM, GSM, DCS, UMTS), παρατηρείται ότι σε όλες σχεδόν τις μετρήσεις και για όλα τα έτη, η συντριπτική συνεισφορά στο συνολικό λόγο έκθεσης οφείλεται καταρχάς στις εκπομπές των ραδιοφωνικών αναμεταδοτών FM (με μέση τιμή λόγου έκθεσης για αυτή την περιοχή συχνοτήτων *0,80* και τυπική απόκλιση *1,02*) και κατόπιν στους τηλεοπτικούς TV UHF (με αντίστοιχες τιμές *0,04* και *0,18*). Ακολουθούν με σημαντική διαφορά οι εκπομπές στην περιοχή συχνοτήτων VHF, η χρήση της οποίας έχει περιοριστεί σημαντικά μετά τη μετάβαση της ελληνικής τηλεόρασης στην ψηφιακή τεχνολογία, μετά το έτος 2015.



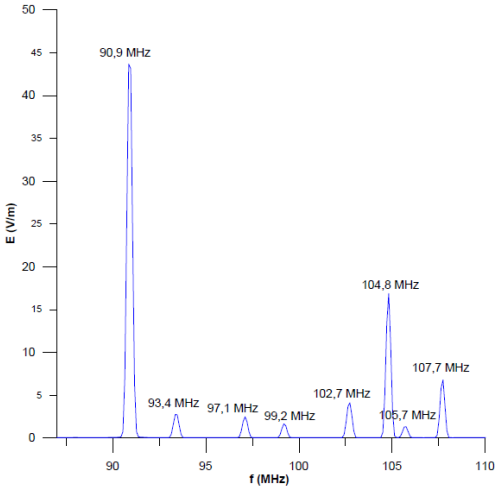
(α)



(β)



(γ)

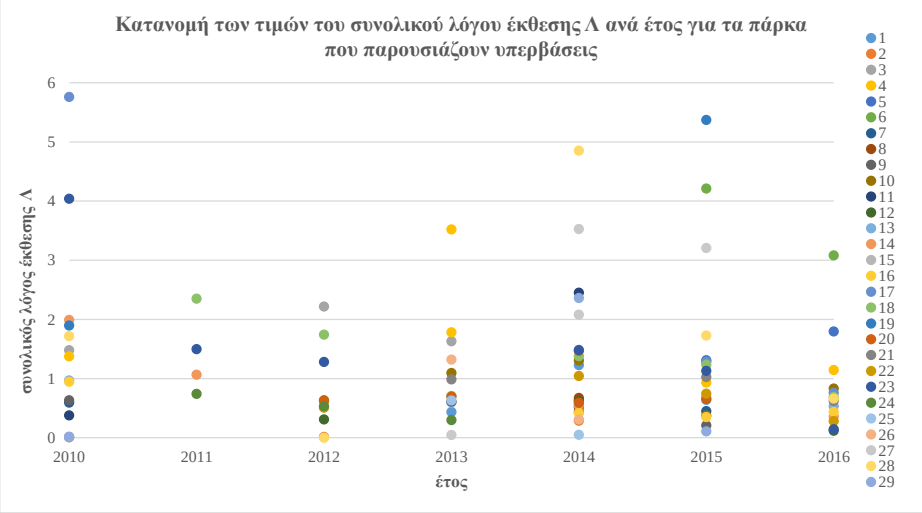


(δ)

Εικόνα 1: Δορυφορική φωτογραφία όπου επισημαίνεται με κόκκινο χρώμα η περιοχή της υπέρβασης για το πάρκο #27 για τα έτη 2014 (α) και 2015 (γ).
Συχνοτικό διάγραμμα του ραδιοφωνικού φάσματος για το εκάστοτε έτος όπου εντοπίζεται η συχνότητα εκπομπής στην οποία οφείλεται κυρίως η υπέρβαση: 104,8 MHz για το έτος 2014 (β) και 90,9 MHz για το έτος 2015 (δ)

Μ. Χριστοπούλου, Χ. Γκόβαρη, Α. Γιαλόφας, Ε. Καλαμπαλίκη, Η. Καραστέργιος, Δ. Κουτουνίδης, Θ. Κυρίτση, Α. Σκαμνάκης, Χ. Τζουμανίκα, Π. Τσαπρούνη, Δ. Τσαρούχας και Ε. Καραμπέτσος
Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ)
Αξιολόγηση των επιπέδων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε πάρκα κεραιών στην Ελλάδα για τα έτη 2010-2016
7ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας
Αθήνα, 11-12 Μαΐου 2018

Ως υπέρβαση ή πιθανή υπέρβαση των ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού ορίζεται όταν ο συνολικός λόγος έκθεσης υπερβαίνει τη μονάδα (70% των ορίων της Ε.Ε.), έχοντας συνυπολογίσει την διευρυμένη αβεβαιότητα των μετρήσεων. Για τα υπό μελέτη δεδομένα, 29 πάρκα από το σύνολο των 55 (53%) παρουσιάζουν έστω και για ένα έτος υπέρβαση ή πιθανή υπέρβαση. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η περιοχή στην οποία αναμένεται υπέρβαση των ορίων οριοθετείται μετά από λεπτομερείς μετρήσεις σε όλο το εμβαδό που αυτή καταλαμβάνει και σκιαγραφείται με κόκκινο χρώμα στη δορυφορική φωτογραφία. Στους χώρους αυτούς προτείνεται α) Να αποκλείεται/ελέγχεται η πρόσβαση του κοινού στους χώρους αυτούς (δηλαδή στη σκιαγραφημένη με κόκκινο χρώμα περιοχή) και β) Να αναρτώνται ειδικές πινακίδες σε εμφανή σημεία γύρω από τον χώρο αυτό που να ενημερώνουν για την ύπαρξη ισχυρών ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. Σε κάθε περίπτωση, επαναλαμβάνονται οι επιτόπιοι έλεγχοι προκειμένου να εξεταστεί αν έχει αρθεί η υπέρβαση. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα απεικόνισης υπέρβασης συνοψίζεται στην Εικόνα 1 και αφορά στο πάρκο #27. Στη δορυφορική φωτογραφία της Εικόνας 1(α) επισημαίνονται οι θέσεις μέτρησης (η θέση 2 αντιστοιχεί στη δυσμενέστερη) για το έτος 2014 και σκιαγραφείται η περιοχή υπέρβασης, η οποία οφείλεται σε ραδιοφωνικό αναμεταδότη με συχνότητα εκπομπής 104,8 MHz (βλ. φάσμα της Εικόνας 1(β)). Σύμφωνα με τη μεθοδολογία της ΕΕΑΕ, σε περιπτώσεις υπέρβασης ή πιθανής υπέρβασης, οι μετρήσεις επαναλαμβάνονται, με προτίμηση στα ίδια σημεία, ώστε να διαπιστωθεί η άρση ή μη της υπέρβασης ή πιθανής υπέρβασης. Στην προκειμένη περίπτωση, διαπιστώθηκε η μεταβολή της τοπολογίας της περιοχής υπέρβασης και όχι η άρση της, με δυσμενέστερη θέση μέτρησης τη θέση 3. Από το φάσμα της Εικόνας 1(δ) διαπιστώθηκε ότι ενώ ο ραδιοφωνικός πάροχος με συχνότητα εκπομπής 104,8 MHz συμμορφώθηκε κατόπιν των σχετικών ενεργειών της ΕΕΑΕ, η υπέρβαση μεταβλήθηκε αλλά εξακολουθεί να ισχύει και πλέον οφείλεται σε έτερο ραδιοφωνικό αναμεταδότη με συχνότητα εκπομπής 90,9 MHz. Η κατανομή των τιμών του συνολικού λόγου έκθεσης Λ (χωρίς το συνυπολογισμό της διευρυμένης αβεβαιότητας) ανά έτος για αυτά τα 29 πάρκα, απεικονίζεται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4: Κατανομή των τιμών του συνολικού λόγου έκθεσης Λ ανά έτος για τα 29 πάρκα που παρουσιάζουν υπερβάσεις ή πιθανές υπερβάσεις, έστω και για ένα έτος

Μ. Χριστοπούλου, Χ. Γκόβαρη, Α. Γιαλόφας, Ε. Καλαμπαλίκη, Η. Καραστέργιος, Δ. Κουτουνίδης, Θ. Κυρίτση, Α. Σκαμνάκης, Χ. Τζουμανίκα, Π. Τσαπρούνη, Δ. Τσαρούχας και Ε. Καραμπέτσος
Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ)
Αξιολόγηση των επιπέδων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε πάρκα κεραιών στην Ελλάδα για τα έτη 2010-2016
7ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας
Αθήνα, 11-12 Μαΐου 2018

Αξίζει να σημειωθεί ότι στην πλειονότητά τους οι υπερβάσεις είναι εξαιρετικά τοπικά εντοπισμένες και οφείλονται, στις περισσότερες περιπτώσεις, σε κεραιοδιατάξεις FM οι οποίες τοποθετούνται σε ιστούς στήριξης χαμηλού ύψους, οι οποίοι τοποθετούνται ή/και απομακρύνονται τις περισσότερες φορές άναρχα, χωρίς να ακολουθείται συγκεκριμένο πλάνο.

6. Συμπεράσματα

Η παρούσα μελέτη αναλύει τα δεδομένα επιτόπιων ελέγχων στο περιβάλλον πάρκων κεραιών στην Ελλάδα κατά τη χρονική περίοδο 2010-2016. Συνοψίζοντας, αναφέρεται ότι σε όλα τα έτη, η μεγαλύτερη συνεισφορά στη συνολική έκθεση σε ΗΜΠ οφείλεται στις εκπομπές των ραδιοφωνικών FM αναμεταδοτών. Επίσης, παρατηρείται ότι πάνω από το 36% των μετρήσεων αντιστοιχεί σε υπέρβαση ή πιθανή υπέρβαση των ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού, σε αυστηρώς οριοθετημένες περιοχές εντός του πάρκου κεραιών. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η ΕΕΑΕ ενημερώνει σχετικά την Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων (ΕΕΤΤ) ώστε να προβεί στις απαραίτητες ενέργειες. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο έλεγχος που ακολουθεί χρονικά επιβεβαιώνει την άρση της υπέρβασης ή πιθανής υπέρβασης. Παρ' όλ' αυτά, συνολικά δεν μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα για την άρση των υπερβάσεων, οι οποίες σε αρκετές περιπτώσεις επανεμφανίζονται σε μελλοντικό επιτόπιο έλεγχο, λόγω των μεταβολών στην τοπολογία των κεραιοδιατάξεων και των ιστών στήριξής τους, χωρίς καλώς ορισμένο πλάνο. Τέλος, η ολοκλήρωση της επίγειας ψηφιακής ραδιοφωνικής ευρυεκπομπής η οποία θα ακολουθήσει την ήδη εφαρμοσμένη από τις αρχές του 2015 ψηφιακή τεχνολογία στο τηλεοπτικό σήμα, αναμένεται να μειώσει δραστικά τα επίπεδα έκθεσης του κοινού σε ΗΜΠ εντός των πάρκων κεραιών στην Ελλάδα.

7. Βιβλιογραφία

ΕΕΑΕ, 2017. Ιστοσελίδα της ΕΕΑΕ, Επιτόπιες μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικών πεδίων (http://www.eeae.gr/gr/index.php?pvar=php/ni/newmaps_query).

Gkonis F, Boursianis A, Samaras Th., 2017. Electromagnetic Field Exposure Changes Due to the Digital Television Switchover in Thessaloniki, Greece. Health Phys 113(5):382–386.

Joseph W, Verloock L, Goeminne F, Vermeeren G, Martens L., 2010. Assessment of general public exposure to LTE and RF sources present in an urban environment. Bioelectromagnetics 31(7):576-579.

Joyner KH, VanWyk MJ, Rowley JT, 2014. National surveys of radiofrequency fields strengths from radio base stations in Africa. Radiat Prot Dosimetry 158(3):251-262.

Stratakis D, Miaoudakis A, Zacharopoulos V, Xenos T., 2009. Overall Uncertainty Estimation in Multiple Narrowband in Situ Electromagnetic Field Measurements. IEEE Trans on Instrumentation and Measurement 58(8):2767-2779.