

# ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΥΨΙΣΥΧΝΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΕΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΤΑ ΤΑ ΕΤΗ 2008-2013

Μ. Χριστοπούλου, Δ. Κουτουνίδης, Ε. Καραμπέτσος

Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ), Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών  
Πατριάρχου Γρηγορίου και Νεαπόλεως, Αγία Παρασκευή, Τ.Θ 60092, Τ.Κ. 15310

email: mchrist@eeae.gr; dkout@eeae.gr; thkarabe@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, την εξαετία 2008-2013 πραγματοποιήθηκαν περισσότεροι από 6000 έλεγχοι σε όλη τη χώρα, που αφορούν σταθμούς κεραιών εκπομπής, σε τρεις τουλάχιστον θέσεις μέτρησης στο περιβάλλον κάθε σταθμού. Στην παρούσα εργασία, παρουσιάζεται, για πρώτη φορά, η συγκεντρωτική επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων από τους 4705 ελέγχους εκ του συνόλου, με στόχο την αντιπαραβολή τους με τα θεσμοθετημένα όρια και τον χαρακτηρισμό της έκθεσης του γενικού πληθυσμού. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων αφορά, μεταξύ άλλων, την τιμή του λόγου έκθεσης της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου (E), ανά περιοχή συχνοτήτων, σε όλες τις θέσεις μέτρησης, καθώς και την τιμή του συνολικού λόγου έκθεσης για το ίδιο μέγεθος 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 στην τελευταία εξαετία και σχετίζονται με την έκθεση του γενικού πληθυσμού σε υψίσυχνα ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Για το σκοπό αυτό, πραγματοποιείται χρήση εργαλείων στατιστικής ανάλυσης, βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων και παραγόντων ταξινόμησης. Αναφέρονται ενδεικτικά, μεταξύ άλλων: α) το περιβάλλον διεξαγωγής της μέτρησης (αστικό/μη αστικό ή εσωτερικός/εξωτερικός χώρος), β) η ζώνη συχνοτήτων/υπηρεσία (TV, FM, GSM, DCS, UMTS), γ) το έτος, δ) η γεινίαση των σταθμών κεραιών με χώρους κοινωνικού ενδιαφέροντος (π.χ. σχολεία, νοσοκομεία).

*Λέξεις-Κλειδιά: ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, επίπεδα αναφοράς, λόγος έκθεσης, γενικός πληθυσμός, στατιστική επεξεργασία*

## Abstract

Greek Atomic Energy Commission (GAEC), in the context of its statutory responsibilities, measure electromagnetic fields (EMF) exposure and check the compliance to reference levels, automatically or after public's request. From 2008 till today, over 6000 such inspections and measurements (audits) have been conducted throughout the country by the Non-Ionizing Radiation Office, at three selected positions in the proximity of base stations. The paper presents processing and statistical analysis of measurement data corresponding to 4705 audits, aiming to compare them with the reference levels for the

Μ. Χριστοπούλου, Δ. Κουτουνίδης, Ε. Καραμπέτσος, ΕΕΑΕ, Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών  
Συνολική παρουσίαση και ανάλυση των μετρήσεων υψίσυχνων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που έχουν πραγματοποιηθεί στην Ελλάδα κατά τα έτη 2008-2013

public exposure's characterization. Among others, the results' presentation include the exposure ratio referring to electric field (E) value, for each frequency range, at all selected positions and the total exposure ratio 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 last six years, characterizing the general public exposure to high frequency electromagnetic fields. Statistical analysis is applied to assist the presentation and evaluation of the data, based on selected criteria and classification parameters, including: i) environment (urban/suburban/rural or/and outdoor/indoor), ii) frequency selected services (TV, FM, GSM, DCS, UMTS), iii) year, iv) vicinity to places and buildings of public concern such as squares, schools and hospitals.

*Keywords: electromagnetic exposure, reference levels, exposure ratio, general public, statistical analysis*

## 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. Στη διεθνή βιβλιογραφία, αναφέρονται δημοσιευμένες εργασίες οι οποίες παρουσιάζουν και αναλύουν τη διαφοροποίηση στα επίπεδα έκθεσης του γενικού πληθυσμού σε ΗΜΠ ΡΣ, βάσει σημαντικού αριθμού επιτόπιων μετρήσεων, σε αρκετές ηπείρους/χώρες, όπως ενδεικτικά στην Αυστραλία (60 σταθμοί βάσης) [Henderson and Bangay 2006], Κορέα (50 θέσεις) [Kim and Park 2010], Κίνα (827 σταθμοί βάσης, συνολικά 6207 θέσεις μέτρησης) [Wu et al. 2013], Αφρική (260000 θέσεις μέτρησης) [Joyner et al. 2014], Σερβία (664 θέσεις μέτρησης στο περιβάλλον σταθμών βάσης) [Koprivica et al. 2014]. Επιπλέον, η έκθεση του γενικού πληθυσμού σε ΗΜΠ από σταθμούς βάσης τεχνολογίας Long Term Evolution (LTE) σε 30 θέσεις στη Στοκχόλμη, αποτιμήθηκε από τους Joseph et al. [2010]. Μια από κοινού μελέτη του Βελγίου και της Ελλάδας για μετρήσεις της ΗΜ έκθεσης σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους, ανέλυσε τα αποτελέσματα μετρήσεων 153 θέσεων, κατανεμημένων σε 55 “μικρο-περιβάλλοντα” εσωτερικού χώρου, με χρήση φασματικού εξοπλισμού και επιπλέον, με χρήση προσωπικών δοσίμετρων, καταγράφηκαν οι χρονικές διακυμάνσεις της έκθεσης, κατά τη διάρκεια μερικών ημερών ως μιας εβδομάδας σε 98 θέσεις [Vermeeren et al. 2013].

Η παρούσα εργασία αποτελεί την πρώτη πολυπαραμετρική, συγκεντρωτική ανάλυση, ανά έτος, των δεδομένων επιτόπιων μετρήσεων που έχουν διεξαχθεί στον περιβάλλοντα χώρο σταθμών βάσης κινητών επικοινωνιών στην Ελλάδα, για εξαετή περίοδο (2008-2013). Οι ευρυζωνικές και συχνοεπιλεκτικές επιτόπιες μετρήσεις των ΗΜΠ, διεξήχθησαν από κλιμάκια του Γραφείου Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών της Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ) ή από εξουσιοδοτημένα από αυτήν συνεργεία άλλων φορέων.

Η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, στο πλαίσιο των αρμοδιοτήτων της ως φορέας υπεύθυνος για την προστασία του πληθυσμού και του περιβάλλοντος από τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, ελέγχει την τήρηση των ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού, α) αυτεπαγγέλτως κατά τρόπο δειγματοληπτικό, ετησίως σε ποσοστό 20% τουλάχιστον των αδειοδοτημένων από την Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων (ΕΕΤΤ) κεραιών, που λειτουργούν εντός σχεδίου πόλεως και β) κατόπιν αιτήματος

---

Μ. Χριστοπούλου, Δ. Κουτουνίδης, Ε. Καραμπέτσος, ΕΕΑΕ, Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών  
Συνολική παρουσίαση και ανάλυση των μετρήσεων υψίσυχνων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που έχουν πραγματοποιηθεί στην Ελλάδα κατά τα έτη 2008-2013

οποιοδήποτε νομικού ή φυσικού προσώπου. Συνολικά, την εξαετία 2008-2013 πραγματοποιήθηκαν πλέον των 6000 ελέγχων στο περιβάλλον σταθμών κεραιών σε όλη τη χώρα, σε τρία τουλάχιστον σημεία μέτρησης σε κάθε σταθμό. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα δεδομένα των μετρήσεων, η προκαταρκτική τους ανάλυση και η σύγκρισή τους με τα όρια έκθεσης του κοινού όπως αυτά ορίζονται στην κείμενη νομοθεσία, βρίσκονται ανηρημένα στην επίσημη ιστοσελίδα της ΕΕΑΕ, επιτρέποντας έτσι την πρόσβαση του κοινού στα δεδομένα αυτά [ΕΕΑΕ, 2014].

## 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 Υπουργικής Απόφασης 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. [ICNIRP 1998], εισάγοντας ένα πρόσθετο συντελεστή ασφαλείας. Επίσης, ειδικά σε περίπτωση εγκατάστασης κατασκευής κεραιάς 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, η σύγκριση των μετρούμενων τιμών γίνεται με τα επίπεδα αναφοράς της ελληνικής νομοθεσίας όπως αυτά υπολογίζονται στο 60% των τιμών της προαναφερθείσας Σύστασης της Ε.Ε. και ενδεικτικά αντιστοιχούν σε 21.7 V/m (στη ζώνη συχνοτήτων 10-400 MHz), 30.1 V/m (800 MHz), 45.2 V/m (1800 MHz) και 47.2 V/m (στη ζώνη συχνοτήτων 2-300 GHz) για την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (E). Για τον τρόπο εφαρμογής των συντελεστών μείωσης ορίων 70% και 60% της κείμενης νομοθεσίας, βλ. τη σχετική εγκύκλιο της ΕΕΑΕ ([http://www.eeae.gr/docs/ni/\\_egkiklios\\_oria.pdf](http://www.eeae.gr/docs/ni/_egkiklios_oria.pdf)).

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<sup>2</sup>), σε μια συχνότητα στην οποία τα επίπεδα αναφοράς (μετά την εφαρμογή των προβλεπόμενων συντελεστών μείωσης 60% ή 70%) είναι L<sub>E</sub>, L<sub>H</sub> και L<sub>P</sub>, αντίστοιχα.

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

Μ. Χριστοπούλου, Δ. Κουτουνίδης, Ε. Καραμπέτσος, ΕΕΑΕ, Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών  
Συνολική παρουσίαση και ανάλυση των μετρήσεων υψίσυχων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που έχουν πραγματοποιηθεί στην Ελλάδα κατά τα έτη 2008-2013

### 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 ιστροπική κεραία ηλεκτρικού πεδίου υψηλών συχνοτήτων E-field antenna της ίδιας εταιρείας. 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 (βλ. Πίνακα 1), καθώς και ο συνολικός λόγος έκθεσης σε όλη την περιοχή συχνοτήτων λειτουργίας του εκάστοτε χρησιμοποιούμενου ανιχνευτή (27 MHz – 3 GHz).

Πίνακας 1: Φασματικές περιοχές που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των μετρούμενων πεδίων ανά υπηρεσία με χρήση της ιστροπικής κεραίας ηλεκτρικού πεδίου υψηλών συχνοτήτων E- field antenna (27 MHz – 3 GHz)

Φασματική Περιοχή (MHz)	Υπηρεσίες
27 – 87,5	
87,5 – 108	Ραδιοφωνικές εκπομπές στη φασματική περιοχή των FM
110 – 272	Αεροναυτική και ναυτιλιακή επικοινωνία - Τηλεοπτικές εκπομπές στη φασματική περιοχή VHF
370 – 430	Ενδοεπικοινωνίες ιδιωτικών δικτύων και δίκτυα σωματών ασφαλείας (σύστημα TETRA)
460 – 875	Τηλεοπτικές εκπομπές στη φασματική περιοχή UHF
876 – 960	Εκπομπές σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας στο σύστημα GSM 900, Ραδιοεντοπισμός
1710 – 1880	Εκπομπές κινητής τηλεφωνίας στο σύστημα DCS 1800
1905 – 2155	Εκπομπές κινητής τηλεφωνίας στο σύστημα UMTS
2155 – 3000	Εκπομπές κεραιοδιατάξεων Wi-Fi και μικροκυματικών κεραίων καθώς και συστήματα ραντάρ, Ραδιοεντοπισμός
Ενδιάμεσες περιοχές συχνοτήτων (Ε.Π.Σ)	Οι υπόλοιπες περιοχές συχνοτήτων από 27 MHz έως 3 GHz, οι οποίες δεν περιέχονται στις παραπάνω περιοχές

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 ακόλουθη διαδικασία: Αρχικά, η κεραία συνδέθηκε άμεσα στη βασική μονάδα του συστήματος SRM. Κρατώντας την βασική μονάδα με το χέρι, ο χρήστης τοποθετεί το σύστημα έτσι ώστε η κεραία να βρίσκεται διαδοχικά σε τρία σημεία μέτρησης που απέχουν από το έδαφος περίπου 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  $f$  (Πίνακας 1). Ο λόγος έκθεσης  $\lambda_f$  στην εκάστοτε φασματική περιοχή  $f$ , από τις μετρήσεις στα τρία (3) σημεία μέτρησης, υπολογίστηκε ως ο μέσος όρος των  $\lambda_{i,f}$

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

Ο συνολικός λόγος έκθεσης  $\Lambda$  στη κάθε θέση μέτρησης υπολογίστηκε ως το άθροισμα των λόγων έκθεσης  $\lambda_f$  σε όλες τις φασματικές περιοχές  $f$

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

Μ. Χριστοπούλου, Δ. Κουτουνίδης, Ε. Καραμπέτσος, ΕΕΑΕ, Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών  
Συνολική παρουσίαση και ανάλυση των μετρήσεων υψίσυχων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που έχουν πραγματοποιηθεί στην Ελλάδα κατά τα έτη 2008-2013

Σημειώνεται ότι ο λόγος έκθεσης είναι ένας καθαρός αριθμός που χρησιμοποιείται για να σταθμιστεί η επιβάρυνση στην έκθεση του κοινού από μία διάταξη ή πολλές διατάξεις. Η μέγιστη τιμή του είναι προφανώς 1, που αντιστοιχεί στο 100% των ορίων, τα οποία στο πλαίσιο της εργασίας τίθενται στο 60% των αντίστοιχων τιμών της Ε.Ε.

#### 4. Περιγραφή των δεδομένων μέτρησης

Τα δεδομένα μέτρησης προέκυψαν από 4705 επιτόπιους ελέγχους των επιπέδων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, στο περιβάλλον σταθμών βάσης κινητών επικοινωνιών για την αποτίμηση της έκθεσης του γενικού πληθυσμού. Κάθε έλεγχος διενεργείται μέσω μετρήσεων σε τρεις τουλάχιστον θέσεις στο περιβάλλον κάθε σταθμού, και έτσι ελήφθησαν δεδομένα μετρήσεων που προέρχονται από τουλάχιστον 14115 ( $3 \times 4705$ ) θέσεις στο περιβάλλον των σταθμών βάσης. Οι μετρήσεις διεξήχθησαν από κλιμάκια της ΕΕΑΕ ή από εξουσιοδοτημένα συνεργεία άλλων φορέων, κατά τα έτη 2008-2013. Τα δεδομένα μέτρησης αναλύονται βάσει παραμέτρων που περιλαμβάνουν: i) έτος, ii) περιβάλλον (αστικό/ημιαστικό/αγροτικό), iii) ζώνες συχνοτήτων λειτουργίας υπηρεσιών (FM, VHF, TETRA, UHF TV, GSM 900, DCS 1800, UMTS, Wi-Fi/radar, βλ. Πίνακα 1), iv) εγγύτητα σε χώρους κοινωνικού ενδιαφέροντος όπως σχολεία, νοσοκομεία και χώρους συνάθροισης του κοινού, όπως πλατείες. Ο χαρακτηρισμός του περιβάλλοντος γίνεται με βάση την ακόλουθη περιγραφή: (α) αγροτικό: απουσία κατοικιών σε μεγάλη έκταση πλησίον του σημείου εγκατάστασης του σταθμού βάσης, όπως δασικές περιοχές (π.χ. υψώματα, λόφοι), αγροτεμάχια, (β) ημιαστικό: χωριά και κωμοπόλεις, (γ) αστικό: μεγάλα αστικά κέντρα, όπως Αθήνα, Θεσσαλονίκη καθώς και μικρότερες πόλεις. 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 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 4705 «δυσμενέστερες» θέσεις των ελέγχων, στις οποίες μετρήθηκαν οι αριθμητικά μεγαλύτερες τιμές των αναφερόμενων μεγεθών. Σημειώνεται ότι από το σύνολο των μετρήσεων έχουν εξαιρεθεί αυτές που έχουν πραγματοποιηθεί σε χώρους που πρακτικά συνιστούν πάρκα κεραιών και βρίσκονται εκτός οικιστικού ιστού (συνήθως σε υψώματα εκτός πόλεων), στους οποίους υπάρχει μεγάλος αριθμός και πυκνότητα εγκατεστημένων κεραιοδιατάξεων όλων των ειδών (όπως διατάξεις ραδιοφωνικών και τηλεοπτικών σταθμών, διατάξεις ραντάρ, κ.α.). Τέλος, στο σύνολο των μετρήσεων συνυπολογίζονται και δεκαπέντε (15) περιπτώσεις που πραγματοποιήθηκαν στο περιβάλλον κεραιών περιορισμένης εμβέλειας (μικροκυψέλες), οι οποίες συνήθως τοποθετούνται σε μπαλκόνια και/ή προσόψεις κτιρίων, σε μικρό ύψος.

#### 5. Αποτελέσματα

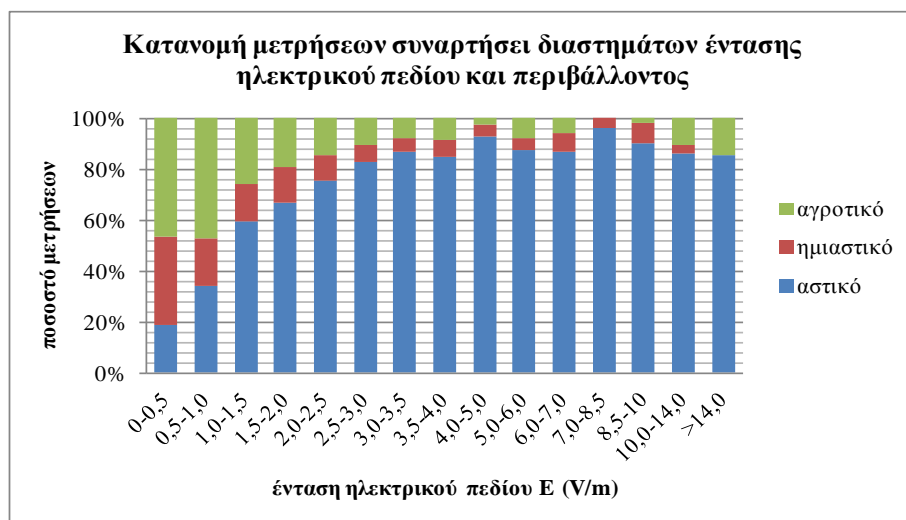
Στο σύνολο των μετρήσεων, η μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, της πυκνότητας ισχύος και του λόγου έκθεσης υπολογίζεται αντίστοιχα:  $E = 2,24$  (τυπική απόκλιση  $\sigma$ : 2,96) V/m,  $P = 0,04$  ( $\sigma$ : 0,19)  $W/m^2$  και  $A = 0,01$  ( $\sigma$ : 0,06). Ο αριθμός των μετρήσεων ανά έτος, ανεξαρτήτου περιβάλλοντος, είναι 276 (για το έτος 2008), 1211 (2009), 1190 (2010), 384 (2011), 1419 (2012) και 225 (2013). Ο αριθμός των μετρήσεων ανά περιβάλλον, ανεξαρτήτου έτους, είναι 2597 (για το αστικό περιβάλλον), 801 (ημιαστικό) και 1307 (αγροτικό). Δεδομένης της δυσαναλογίας στον αριθμό των μετρήσεων ανά κατηγορία (π.χ. έτος, περιβάλλον), τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στη

Μ. Χριστοπούλου, Δ. Κουτουνίδης, Ε. Καραμπέτσος, ΕΕΑΕ, Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών  
Συνολική παρουσίαση και ανάλυση των μετρήσεων υψίσυχων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που έχουν πραγματοποιηθεί στην Ελλάδα κατά τα έτη 2008-2013

συνέχεια σταθμισμένα ανά κατηγορία ανάλυσης. Έστω  $A$  το πλήθος των μετρήσεων μιας ευρύτερης κατηγορίας (π.χ. έτος) και  $a$  το αντίστοιχο πλήθος μιας υποκατηγορίας της ευρύτερης κατηγορίας (π.χ. περιβάλλον για συγκεκριμένο έτος), τότε η σταθμισμένη μέση τιμή του λόγου έκθεσης  $\Lambda_\sigma$  ορίζεται ως εξής:

$$\Lambda_\sigma = \frac{\alpha}{A} \sum_{i=1}^a \Lambda_i \quad (4)$$

Το Σχήμα 1 απεικονίζει την ποσοστιαία κατανομή του αριθμού των μετρήσεων, στις οποίες η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου λαμβάνει τιμή εντός των επιλεγμένων διαστημάτων: 0-0,5 V/m, 0,5-1 V/m, 1-1,5 V/m, 1,5-2 V/m, 2-2,5 V/m, 2,5-3 V/m, 3-3,5 V/m, 3,5-4 V/m, 4-5 V/m, 5-6 V/m, 6-7 V/m, 7-8,5 V/m, 8,5-10 V/m, 10-14 V/m, >14 V/m. Η διακριτοποίηση των διαστημάτων δεν είναι ομοιόμορφη, με αποτέλεσμα τα διαστήματα που αντιστοιχούν σε μεγαλύτερες τιμές έντασης ηλεκτρικού πεδίου να είναι ευρύτερα, διότι σε αυτά αναμένεται να αντιστοιχεί μικρότερος αριθμός μετρήσεων. Στο σημείο αυτό υπενθυμίζεται ότι από το σύνολο των μετρήσεων έχουν εξαιρεθεί αυτές που έχουν πραγματοποιηθεί εντός πάρκων κεραιών, οι οποίες αντιστοιχούν κατά βάση σε υψηλές τιμές έκθεσης. Σύμφωνα με το Σχήμα 1, η κατανομή των τιμών της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου πραγματοποιείται και ανά περιβάλλον (αστικό, ημιαστικό, αγροτικό). Παρατηρείται ότι η πλειονότητα των μετρήσεων (99,1%) αντιστοιχεί σε τιμές έντασης ηλεκτρικού πεδίου χαμηλότερες από 14 V/m, τιμή που είναι σαφώς μικρότερη από το 60% των επιπέδων αναφοράς της Ε.Ε. (Ελληνική Νομοθεσία). Οι τιμές που υπερβαίνουν την τιμή των 14 V/m καταγράφηκαν, στο αστικό περιβάλλον, σε ισούψη σημεία (π.χ. ταράτσες κτιρίων) και κοντινές αποστάσεις (της τάξης μερικών μέτρων) από τις μετρούμενες κεραιοδιατάξεις, καθώς και στο εγγύς περιβάλλον κεραιών περιορισμένης εμβέλειας (μικροκυψέλες). Στο αγροτικό περιβάλλον, παρατηρείται ότι ο αριθμός των μετρήσεων που αντιστοιχεί σε τιμές >10 V/m, αυξάνεται σε σχέση με την τάση στις προηγούμενες στάθμες τιμών (συσχέτιση αστικού με αγροτικού περιβάλλοντος), γεγονός που, όπως διαπιστώθηκε, οφείλεται στην εγκατάσταση περιορισμένου αριθμού σταθμών με κεραιοδιατάξεις κινητής τηλεφωνίας σε πολύ χαμηλό ύψος, καθώς και στην ύπαρξη μεμονωμένων κεραιοδιατάξεων ραδιοτηλεοπτικών αναμεταδοτών.



Σχήμα 1: Ποσοστιαία κατανομή μετρήσεων εντός επιλεγμένων διαστημάτων έντασης ηλεκτρικού πεδίου. Η κατηγοριοποίηση του αριθμού των μετρήσεων πραγματοποιείται και συναρτήσει του περιβάλλοντος (αστικό, ημιαστικό, αγροτικό).

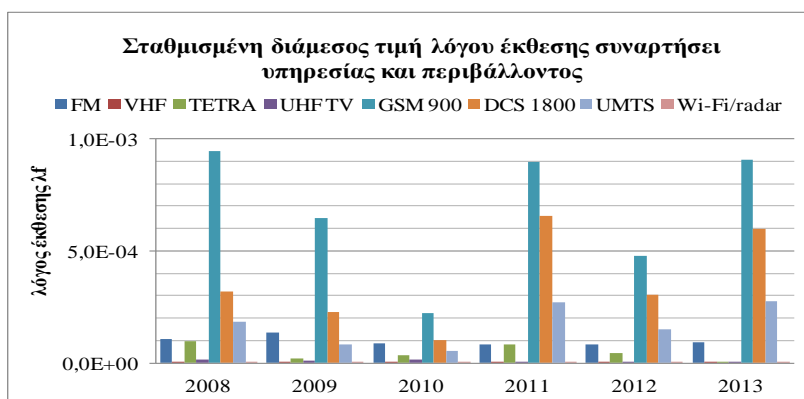
Μ. Χριστοπούλου, Δ. Κουτουνίδης, Ε. Καραμπέτσος, ΕΕΑΕ, Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών  
Συνολική παρουσίαση και ανάλυση των μετρήσεων υψίσυχνων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που έχουν πραγματοποιηθεί στην Ελλάδα κατά τα έτη 2008-2013

Διαχωρίζοντας για κάθε μέτρηση, τις τρεις υπηρεσίες με την υψηλότερη συνεισφορά, ο Πίνακας 2 συνοψίζει τον αριθμό των μετρήσεων στις οποίες η κάθε υπηρεσία αντιστοιχεί σε μια από τις τρεις υψηλότερες συνεισφορές, τη μέση τιμή του λόγου έκθεσης  $\lambda_f$  και την τυπική απόκλιση  $\sigma$ . Από τον Πίνακα 2 συμπεραίνεται ότι οι υπηρεσίες οι οποίες απαντώνται συχνότερα στις επιτόπιες μετρήσεις είναι οι GSM 900, DCS 1800, UMTS, ενώ οι τρεις μεγαλύτερες μέσες τιμές του λόγου έκθεσης εντοπίζονται για τις υπηρεσίες GSM 900 (0,0056), TETRA (0,0050) και FM (0,0048). Αξίζει να αναφερθεί ότι η μέση τιμή του λόγου έκθεσης δεν είναι, σε κάποιες περιπτώσεις περιβάλλοντος, ενδεικτική της συνολικής ή ποσοστιαίας έκθεσης. Η μεγάλη διακύμανση των τιμών, γεγονός που καταδεικνύεται από τις υψηλές τιμές της τυπικής απόκλισης οδηγεί σε υπολογισμό μέσης τιμής του 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 λόγου έκθεσης ανά υπηρεσία: Αριθμός των μετρήσεων στις οποίες η κάθε υπηρεσία αντιστοιχεί σε μια από τις τρεις υψηλότερες συνεισφορές, μέση τιμή, διάμεσος και τυπική απόκλιση  $\sigma$  του λόγου έκθεσης  $\lambda_f$ .

Υπηρεσία (MHz)	Αριθμός μετρήσεων	Μέση τιμή λόγου έκθεσης	Διάμεσος τιμή λόγου έκθεσης	Τυπική απόκλιση λόγου έκθεσης
FM (87,5 – 108)	1970	0,0048	0,00024	0,0570
VHF (110 – 272)	1000	0,0001	0,00001	0,0009
TETRA (370 – 430)	203	0,0050	0,00069	0,0163
UHF TV (460 – 875)	943	0,0008	0,00004	0,0049
GSM 900 (876 – 960)	3175	0,0056	0,00067	0,0188
DCS 1800 (1710 – 1880)	3465	0,0040	0,00034	0,0302
UMTS (1905 – 2155)	2176	0,0020	0,00025	0,0089
Wi-Fi/radar (2155 – 3000)	1225	0,0001	0,00001	0,0011

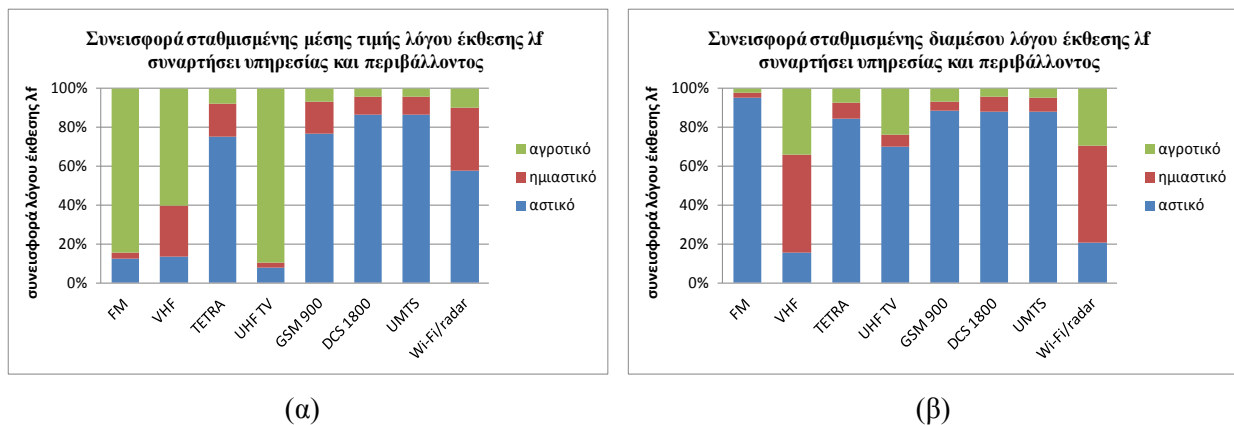
Το Σχήμα 2 παρουσιάζει τη σταθμισμένη διάμεσο τιμή του λόγου έκθεσης, συναρτήσει υπηρεσίας και έτους. Παρατηρείται ότι για όλα τα έτη ακολουθείται η ίδια τάση για τις τιμές του λόγου έκθεσης. Οι τρεις υπηρεσίες (ζώνες συχνοτήτων) που αντιστοιχούν στη μεγαλύτερη σταθμισμένη διάμεσο τιμή του λόγου έκθεσης είναι οι τρεις της κινητής τηλεφωνίας (GSM 900, DCS 1800, UMTS), ενώ η αμέσως επόμενη είναι σταθερά η υπηρεσία FM.



Σχήμα 2: Σταθμισμένη διάμεσος τιμή του λόγου έκθεσης, συναρτήσει υπηρεσίας και έτους. Λόγος έκθεσης ίσος με 1 αντιστοιχεί με ποσοστό 100% των ορίων

Μ. Χριστοπούλου, Δ. Κουτουνίδης, Ε. Καραμπέτσος, ΕΕΑΕ, Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών  
Συνολική παρουσίαση και ανάλυση των μετρήσεων υψίσυχων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που έχουν πραγματοποιηθεί στην Ελλάδα κατά τα έτη 2008-2013

Το Σχήμα 3(α) παρουσιάζει συγκριτικά την ποσοστιαία συνεισφορά της σταθμισμένης μέσης τιμής του λόγου έκθεσης  $L_f$  κάθε υπηρεσίας, συναρτήσει του περιβάλλοντος. Εύκολα παρατηρείται ότι στο αστικό περιβάλλον τη μεγαλύτερη συνεισφορά παρουσιάζουν οι υπηρεσίες TETRA, GSM 900, DCS 1800, UMTS και Wi-Fi/radar, γεγονός που δικαιολογείται από την πυκνότητα του δικτύου μεγάλων αστικών κέντρων. Αντίθετα, οι υπηρεσίες που συνεισφέρουν περισσότερο στη συνολική έκθεση του αγροτικού περιβάλλοντος είναι οι FM και UHF TV, γεγονός που δικαιολογείται από τη συχνότητα εμφάνισης μεμονωμένων κεραιοδιατάξεων ραδιοηλεκτρονικών αναμεταδοτών σε αγροτικές περιοχές και περιοχές απομακρυσμένες από πυκνοκατοικημένες περιοχές.



Σχήμα 3: Συγκριτική παρουσίαση της ποσοστιαίας συνεισφοράς της σταθμισμένης (α) μέσης και (β) διάμεσης τιμής του λόγου έκθεσης  $L_f$  κάθε υπηρεσίας, συναρτήσει του περιβάλλοντος (αστικό, ημιαστικό και αγροτικό).

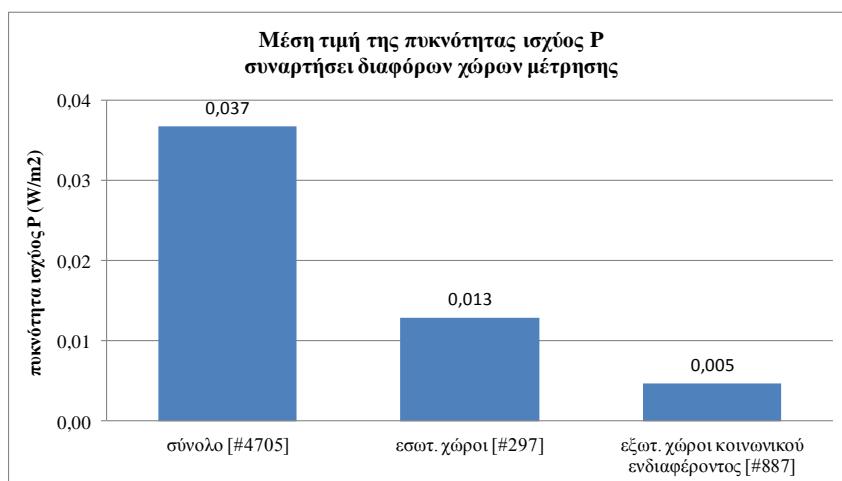
Το Σχήμα 3(β) απεικονίζει την ίδια σύγκριση για τη σταθμισμένη διάμεσο τιμή του λόγου έκθεσης  $L_f$  κάθε υπηρεσίας, ανά περιβάλλον, αναδεικνύοντας τη διαφοροποίηση μεταξύ μέσης και διάμεσης τιμής. Υπενθυμίζεται ότι λόγω της μεγάλης τιμής τυπικής απόκλισης, η διάμεσος τιμή είναι μικρότερη σε σχέση με τη μέση τιμή του λόγου έκθεσης  $L_f$ . Αυτό έχει ως συνέπεια τη μεταβολή της εικόνας για την κατανομή των τιμών. Οι κύριες υπηρεσίες στις οποίες αντιστρέφεται η συσχέτιση αγροτικού και αστικού περιβάλλοντος, είναι η FM και UHF TV. Η παρατήρηση αυτή δικαιολογείται συνδυαστικά από τους εξής παράγοντες: α) η μέση τιμή του λόγου έκθεσης αυξάνεται, στο αγροτικό περιβάλλον, λόγω της ύπαρξης μικρού αριθμού κεραιοδιατάξεων ραδιοηλεκτρονικών αναμεταδοτών χαμηλής ισχύος (δεδομένης της αφαίρεσης των μετρήσεων εντός πάρκων κεραιών) που προκαλούν όμως υψηλές τιμές πεδίων και β) η διάμεσος τιμή του λόγου έκθεσης διατηρείται σε υψηλά επίπεδα, για το αστικό περιβάλλον, λόγω του μεγάλου αριθμού κεραιοδιατάξεων ραδιοηλεκτρονικών αναμεταδοτών υψηλής ισχύος, οι οποίες βρίσκονται σε υψώματα εκτός αστικών περιοχών (δηλ. σε μεγάλη απόσταση), προκαλώντας όμως μεσαίας τάξης τιμές πεδίων (π.χ. σε ταράτσες κτιρίων εντός δήμων που βρίσκονται στους πρόποδες του όρους Υμηττός στο Ν. Αττικής).

Όπως περιγράφηκε κατά τη μεθοδολογία μέτρησης, ο λόγος έκθεσης  $L$  υπολογίζεται για τη θέση με τη «δυσμενέστερη» (αριθμητικά μεγαλύτερη) έκθεση. Εντούτοις, σε πολλές περιπτώσεις, κατόπιν αιτήματος, πραγματοποιούνται μετρήσεις σε α) εσωτερικούς χώρους (297 θέσεις), ή/και β) σε εξωτερικούς χώρους κοινωνικού ενδιαφέροντος, όπως πλατείες, σχολεία, νοσοκομεία, λόγω αυξημένης συγκέντρωσης του κοινού (887 θέσεις). Στις περιπτώσεις αυτές δεν αναμένεται το δυσμενέστερο σενάριο έκθεσης, λόγω αντίστοιχα της θωράκισης που παρέχουν τα δομικά υλικά στην πρώτη περίπτωση και λόγω του

Μ. Χριστοπούλου, Δ. Κουτουνίδης, Ε. Καραμπέτσος, ΕΕΑΕ, Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών  
 Συνολική παρουσίαση και ανάλυση των μετρήσεων υψίσυχων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που έχουν πραγματοποιηθεί στην Ελλάδα κατά τα έτη 2008-2013



γεγονότος ότι οι εξωτερικοί χώροι κοινωνικού ενδιαφέροντος συνήθως βρίσκονται στο επίπεδο του εδάφους και συνεπώς σε χαμηλότερο ύψος και σχετικά μεγαλύτερη απόσταση από τους υπό μέτρηση σταθμούς κεραιών. Το Σχήμα 4 απεικονίζει συγκριτικά τη μέση τιμή της πυκνότητας ισχύος P ( $W/m^2$ ) για τις δύο προαναφερθείσες περιπτώσεις, σε σχέση με το σύνολο των μετρήσεων (4705), οι οποίες αντιστοιχούν στη «δυσμενέστερη» -αριθμητικά μεγαλύτερη τιμή για τον εκάστοτε έλεγχο. Σύμφωνα με το Σχήμα 4, στους χώρους που αντιστοιχούν στις προαναφερθείσες περιπτώσεις (α & β), η έκθεση είναι σημαντικά χαμηλότερη από τις θέσεις που επιλέγονται από τα συνεργεία μέτρησης με γνώμονα τη «δυσμενέστερη» έκθεση του κοινού στο περιβάλλον σταθμών κεραιών, αλλά πραγματοποιούνται στις θέσεις αυτές καθαρά προς ενημέρωση του κοινού. Το γεγονός αυτό πρακτικά επιβεβαιώνει τα αναφερόμενα στην κείμενη νομοθεσία αναφορικά με τον τρόπο διενέργειας των μετρήσεων (ΚΥΑ με αριθ. 2300 ΕΦΑ (493), ΦΕΚ 346/Β/3.3.2008), σύμφωνα με την οποία, οι θέσεις που επιλέγονται από τα συνεργεία μέτρησης, πρέπει να βρίσκονται σε τέτοιο ύψος και εγγύτητα με τον εκάστοτε σταθμό βάσης, προκειμένου να διερευνώνται οι πιο «επιβαρημένες» από πλευράς ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, θέσεις και συνθήκες έκθεσης του κοινού και να διαπιστώνεται η συμμόρφωση ή όχι με τα όρια έκθεσης της κείμενης νομοθεσίας. Συγκρίνοντας τις περιπτώσεις α και β, η μεγαλύτερη μέση τιμή της P στους εσωτερικούς χώρους οφείλεται προφανώς στην ύπαρξη διατάξεων εκπομπής στο εσωτερικό οικιών/γραφείων, π.χ. WiFi routers/femtocells.



Σχήμα 4: Μέσες τιμές της πυκνότητας ισχύος στο σύνολο των μετρήσεων (4705 «δυσμενέστερες» θέσεις), στους εσωτερικούς χώρους (297 θέσεις) και στους εξωτερικούς χώρους κοινωνικού ενδιαφέροντος (887 θέσεις).

## 6. Συμπεράσματα

Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η συγκεντρωτική απεικόνιση των δεδομένων που προκύπτουν από τους επιτόπιους ελέγχους, για την ανάδειξη συμπερασμάτων πανελλαδικής κλίμακας, που αναφέρονται στην τελευταία εξαετία και σχετίζονται με την έκθεση του γενικού πληθυσμού σε υψίσυχνα ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Για το σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκε ανάλυση, βάσει επιλεγμένων κριτηρίων και παραγόντων ταξινόμησης. Το δείγμα μέτρησης αναφέρεται σε 4705 επιτόπιους ελέγχους. Συμπεραίνεται ότι η πλειονότητα των μετρήσεων (99,1%) αντιστοιχεί σε τιμές έντασης ηλεκτρικού πεδίου χαμηλότερες από 14 V/m, τιμή που είναι σαφώς μικρότερη από τα

Μ. Χριστοπούλου, Δ. Κουτουνίδης, Ε. Καραμπέτσος, ΕΕΑΕ, Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών  
Συνολική παρουσίαση και ανάλυση των μετρήσεων υψίσυχνων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που έχουν πραγματοποιηθεί στην Ελλάδα κατά τα έτη 2008-2013

όρια έκθεσης της Ελληνικής Νομοθεσίας που αντιστοιχούν στο 60% των αντίστοιχων τιμών της Ε.Ε. Με βάση τη σταθμισμένη διάμεσο τιμή του λόγου έκθεσης, οι τρεις υπηρεσίες που αντιστοιχούν στη μεγαλύτερη τιμή είναι οι τρεις της κινητής τηλεφωνίας (GSM 900, DCS 1800, UMTS), ενώ η αμέσως επόμενη είναι σταθερά η υπηρεσία FM, τάση που παρατηρείται για όλα τα έτη. Επίσης, με βάση τη σταθμισμένη μέση τιμή του λόγου έκθεσης, παρατηρήθηκε ότι στο αστικό περιβάλλον, τη μεγαλύτερη συνεισφορά παρουσιάζουν οι υπηρεσίες TETRA, GSM 900, DCS 1800, UMTS και Wi-Fi/radar, γεγονός που δικαιολογείται από την πυκνότητα των δικτύων αυτών των υπηρεσιών εντός μεγάλων αστικών κέντρων. Τέλος, παρατηρείται ότι η μέση τιμή της πυκνότητας ισχύος που αντιστοιχεί σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους κοινωνικού ενδιαφέροντος είναι σημαντικά χαμηλότερη, σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή επί του συνόλου των μετρήσεων (δηλ. των θέσεων που αντιστοιχούν στη «δυσμενέστερη» έκθεση). Συμπερασματικά, η συνολική εικόνα της έκθεσης του γενικού πληθυσμού βρίσκεται σε γενική συμφωνία με τη διεθνή βιβλιογραφία. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα παρόντα δεδομένα συνεχώς ενημερώνονται από νέα, αξιολογώντας και τις νέες υπηρεσίες, όπως τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς (4G - LTE (Long Term Evolution)).

## 7. Βιβλιογραφία

- ΕΕΑΕ, 2014. Ιστοσελίδα της ΕΕΑΕ, Μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικών πεδίων: σταθμοί κεραιών ([http://www.eeae.gr/gr/index.php?pvar=php/ni/newmaps\\_query](http://www.eeae.gr/gr/index.php?pvar=php/ni/newmaps_query)).
- Henderson SI, Bangay MJ. 2006. Survey of RF exposure levels from mobile telephone base stations in Australia. *Bioelectromagnetics* 27(1):73-76.
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), 1998. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up 300 GHz). *Health Phys* 74(4):494-522.
- 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.
- Kim BC, Park S-O. 2010. Evaluation of RF electromagnetic field exposure levels from cellular base stations in Korea. *Bioelectromagnetics* 31(6):495-498.
- Koprivica M, Neskovic N, Neskovic A, Paunovic G., 2014. Statistical analysis of electromagnetic radiation measurements in the vicinity of GSM/UMTS base station antenna masts. *Radiat Prot Dosimetry* 158(3):263-275.
- Vermeeren G, Markakis I, Goeminne F, Samaras T, Martens L, Joseph W., 2013. Spatial and temporal RF electromagnetic field exposure of children and adults in indoor micro environments in Belgium and Greece. *Prog Biophys Mol Biol* 113(2): 254-263.
- Wu T, Shao Q, Yang L, Qi D, Lin J, Lin, Yu Z., 2013. A large-scale measurement of electromagnetic fields near GSM stations in Guangxi, China for risk communication. *Radiat Prot Dosimetry* 155(1):25-31.

---

Μ. Χριστοπούλου, Δ. Κουτουνίδης, Ε. Καραμπέτσος, ΕΕΑΕ, Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών  
Συνολική παρουσίαση και ανάλυση των μετρήσεων υψίσυχνων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που έχουν πραγματοποιηθεί στην Ελλάδα κατά τα έτη 2008-2013