

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΤΟΥ ΓΕΝΙΚΟΥ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΡΑΝΤΑΡ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΕΝΑΕΡΙΑΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Νεκτάριος Σκαμνάκης, Ευθυμία Καλαμπαλίκη, Χριστίνα Τζουμανίκα, Παναγιώτα
Τσαπρούνη, Δημήτρης Κουτουνίδης, Αγαμέμνων Γιαλόφας & Ευθύμιος Καραμπέτσος
Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ), Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών
Πατρ. Γρηγορίου & Νεαπόλεως, Τ.Θ 60092, Τ.Κ. 15310, Αγ. Παρασκευή, Αττική, Ελλάδα,
e-mail: thkarabe@eeae.gr

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των επιτόπιων μετρήσεων που διεξήχθησαν στο περιβάλλον 12 πρωτεύοντων και δευτερευόντων συστημάτων ραντάρ ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας, σε όλη την Ελλάδα, από τον αρμόδιο εθνικό φορέα, ο οποίος είναι η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (Ε.Ε.Α.Ε.). Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με σκοπό να εξακριβωθεί η συμμόρφωση ή όχι με τα όρια έκθεσης του γενικού πληθυσμού, όπως αυτά ορίζονται στην κείμενη νομοθεσία. Σε όλες τις περιπτώσεις, τα αποτελέσματα αναδεικνύουν συμμόρφωση με τα όρια.

Λέξεις-Κλειδιά: μετρήσεις, πρωτεύον και δευτερεύον σύστημα ραντάρ ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας, Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, όρια έκθεσης

Abstract

Results of in situ measurements in the vicinity of 12 Air Traffic Control Primary and Secondary Radar systems, throughout Greece, carried out by the national competent authority which is the Greek Atomic Energy Commission, are presented in this paper. All the measurements were performed in order to determine compliance with the exposure limits for the general public, as defined in the national legislation. The results show compliance with the limits, at all cases.

Keywords: measurements, air traffic control primary and secondary radar systems, Greek Atomic Energy Commission, exposure limits

1. Εισαγωγή

1.1 Όρια ασφαλούς έκθεσης του γενικού πληθυσμού

Οι μετρήσεις που θα παρουσιαστούν στη συνέχεια, διεξήχθησαν από κλιμάκια του Γραφείου Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών της Ε.Ε.Α.Ε., κατόπιν αιτήματος της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας, με σκοπό την καταγραφή των επιπέδων της εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από συστήματα ραντάρ ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας και την εξακρίβωση της συμμόρφωσης ή όχι με τα όρια ασφαλούς έκθεσης του κοινού όπως αυτά ορίζονται στις παραγράφους 9 και 10 (κατά περίπτωση) του άρθρου 30 του

Νεκτάριος Σκαμνάκης, Ευθυμία Καλαμπαλίκη, Χριστίνα Τζουμανίκα, Παναγιώτα Τσαπρούνη, Δημήτρης Κουτουνίδης, Αγαμέμνων Γιαλόφας, Ευθύμιος Καραμπέτσος, Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών

Αξιολόγηση της έκθεσης του γενικού πληθυσμού στο περιβάλλον διατάξεων ραντάρ για τον έλεγχο της εναέριας κυκλοφορίας

Νόμου 4070 (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 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».

Αναλυτικότερα, ως όρια ασφαλούς έκθεσης του κοινού στην Ελλάδα (παραγρ. 9 του άρθρου 30 του Νόμου 4070) θεωρούνται το 70% των τιμών της Ε.Ε., εισάγοντας έτσι 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 (παραγρ. 10 του άρθρου 30 του Νόμου 4070), καθώς αυτά απαγορεύεται να υπερβαίνουν το 60% των τιμών της Ε.Ε. Σύμφωνα με την σημείωση 8 του πίνακα 2 της ΚΥΑ 53571/3839/6-9-2000 στην περίπτωση των παλμικά διαμορφωμένων πεδίων, όπως για παράδειγμα στο περιβάλλον διατάξεων ραντάρ, προτείνεται ο μέσος όρος της πυκνότητας ισχύος εφ' όλου του εύρους του παλμού να μην υπερβαίνει το 1000πλάσιο των επιπέδων αναφοράς, ή οι εντάσεις των πεδίων να μην υπερβαίνουν το 32πλάσιο των επιπέδων αναφοράς.

Πρέπει επίσης να αναφερθεί εδώ πως το Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών της Ε.Ε.Α.Ε. έχει διαπιστευτεί από το Εθνικό Συμβούλιο Διαπίστευσης (Ε.ΣΥ.Δ.) ως ικανό, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου ΕΛΟΤ EN ISO/IEC 17025, να διενεργεί μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικών πεδίων υψηλών και χαμηλών συχνοτήτων (όπως καθορίζεται στο πιστοποιητικό διαπίστευσης για δοκιμές με αρ. 117(3),01/06/2011).

1.2 Λόγος έκθεσης λ

Για να καταστεί δυνατή η σύγκριση μεταξύ των μετρούμενων τιμών της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου με το αντίστοιχο επίπεδο αναφοράς, ορίζεται παρακάτω ο λόγος έκθεσης λ, ο οποίος εκφράζεται σε %. Για συχνότητες μεγαλύτερες των 10 MHz, ο συνηθέστερα χρησιμοποιούμενος λόγος έκθεσης λ καθορίζεται από τον λόγο της ενεργού τιμής των μετρήσεων της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου E (με χρόνο ολοκλήρωσης να ορίζεται στα 6 λεπτά), προς το επίπεδο αναφοράς (μετά την εφαρμογή των προβλεπόμενων συντελεστών μείωσης 60% ή 70%) L_E που αντιστοιχεί στη συχνότητα λειτουργίας της εκάστοτε διάταξης ραντάρ:

$$\lambda = \frac{E^2}{L_E^2} \quad (1)$$

Για μετρήσεις παλμικά διαμορφωμένων πεδίων π.χ. στο περιβάλλον διατάξεων ραντάρ υπολογίζεται επίσης ο λόγος έκθεσης λ_p , βάσει των μετρήσεων της ενεργού τιμής κορυφής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου E_p , κατά την διάρκεια ενός παλμού:

Νεκτάριος Σκαμνάκης, Ευθυμία Καλαμπαλίκη, Χριστίνα Τζουμανίκα, Παναγιώτα Τσαπρούνη, Δημήτρης Κουτουνίδης, Αγαμέμνων Γιαλόφας, Ευθύμιος Καραμπέτσος, Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών
Αξιολόγηση της έκθεσης του γενικού πληθυσμού στο περιβάλλον διατάξεων ραντάρ για τον έλεγχο της εναέριας κυκλοφορίας

$$\lambda_p = \frac{E_p^2}{(32L_E)^2} \quad (2)$$

1.3 Συστήματα ραντάρ ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας

Τα συστήματα ραντάρ ελέγχου/επιτήρησης της εναέριας κυκλοφορίας (βλέπε Εικόνα 1), χωρίζονται σε πρωτεύοντα και δευτερεύοντα. Τα πρωτεύοντα αποτελούνται από μια συνεχώς περιστρεφόμενη κεραιοδιάταξη, η οποία τοποθετείται συνήθως επί υψηλής κατασκευής ικριώματος ή ιστού. Η εν λόγω κεραιοδιάταξη εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικά κύματα με τη μορφή παλμών, που προσπίπτουν πάνω στην επιφάνεια του αεροσκάφους. Από το χρόνο που απαιτείται για τη λήψη του επιστρεφόμενου παλμού και από τη διεύθυνση αυτού, προσδιορίζεται από το σύστημα του ραντάρ η απόσταση του αεροσκάφους και το αζιμούθιο ή η κατεύθυνσή του. Τα προαναφερθέντα ραντάρ λειτουργούν στην περιοχή συχνοτήτων από 1340 έως 16500 MHz.

Όσον αφορά τα δευτερεύοντα ραντάρ, αυτά χρησιμοποιούν μια επιπλέον κεραιοδιάταξη, η οποία επισυνάπτεται στην κορυφή του πρωτεύοντος ραντάρ και χρησιμοποιείται για τη μετάδοση και λήψη δεδομένων από και προς τα αεροσκάφη όπως βαρομετρικά χαρακτηριστικά ύψους πτήσης, κωδικοί αναγνώρισης, συνθήκες έκτακτης ανάγκης κ.α. Αυτά λειτουργούν στην περιοχή συχνοτήτων από 1030 έως 1090 MHz.

Στην παρούσα εργασία, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα 30 μετρήσεων σε 12 τοποθεσίες εγκατάστασης ραντάρ ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας που λειτουργούν από την Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας σε όλη την Ελλάδα. Τεχνικά χαρακτηριστικά των υπό μέτρηση ραντάρ, όπως συχνότητα λειτουργίας, μέγιστη και μέση τιμή ισχύος στην είσοδο της κεραίας του ραντάρ, η κλίση του εκπεμπόμενου παλμού ως προς τον ορίζοντα, η συχνότητα επαναλήψεως εκπομπής (PRF), το πλάτος του παλμού (PW), ο αριθμός των περιστροφών της κεραίας του ραντάρ ανά λεπτό (RPM) και το γωνιακό εύρος ημίσειας ισχύος της εκπεμπόμενης δέσμης της ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο (@-3db), δόθηκαν εκ των προτέρων στην Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας. Ως σημεία μέτρησης επιλέχθηκαν αυτά που κρίθηκε από το κλιμάκιο της Υπηρεσίας μας ότι έπρεπε να διεξαχθούν μετρήσεις προκειμένου να ελεγχθούν οι πιο «επιβαρημένες» από πλευράς ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, θέσεις και συνθήκες έκθεσης του κοινού και να διαπιστωθεί η συμμόρφωση ή όχι με τα όρια ασφαλούς έκθεσης που καθορίζονται στην κείμενη νομοθεσία. Κατόπιν αυτού, τα εν λόγω σημεία μέτρησης μπορούν αν χωριστούν σε δύο κατηγορίες: πρώτον, σε σημεία ακριβώς έξω από την περίφραξη του χώρου εγκατάστασης του εκάστοτε ραντάρ, δεδομένου ότι αυτά είναι και τα πιο προσιτά για το γενικό πληθυσμό και δεύτερον, το πλησιέστερο δυνατό σημείο προς την κεραία του ραντάρ όπου παρατηρούνται ή αναμένονται οι μέγιστες τιμές έκθεσης.

Νεκτάριος Σκαμνάκης, Ευθυμία Καλαμπαλίκη, Χριστίνα Τζουμανίκα, Παναγιώτα Τσαπρούνη, Δημήτρης Κουτουνίδης, Αγαμέμνων Γιαλόφας, Ευθύμιος Καραμπέτσος, Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών
Αξιολόγηση της έκθεσης του γενικού πληθυσμού στο περιβάλλον διατάξεων ραντάρ για τον έλεγχο της εναέριας κυκλοφορίας



Εικόνα 1: Άποψη της εγκατάστασης του ραντάρ ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας στο Ηράκλειο Κρήτης

2. Μεθοδολογία

2.1 Σύστημα SRM-3000

Το σύστημα SRM - 3000, της εταιρείας Narda-STS, χρησιμοποιείται για συχνοεπιλεκτικές μετρήσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και αποτελείται από μια βασική μονάδα – φασματικό αναλυτή στην περιοχή συχνοτήτων 100 kHz – 3 GHz στην οποία μπορούν να συνδέονται κατά περίπτωση, διάφορα είδη κεραιών είτε απευθείας είτε μέσω RF καλωδίου επέκτασης.

Το άμεσα μετρούμενο μέγεθος είναι η ένταση ηλεκτρικού πεδίου (E) σε V/m από το οποίο υπολογίζονται από το σύστημα SRM - 3000 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). Ως όρια έκθεσης έχουν εισαχθεί στη βασική μονάδα τα όρια έκθεσης του κοινού για όλο το χρησιμοποιούμενο φάσμα συχνοτήτων όπως αυτά ορίζονται κατά περίπτωση (70 ή 60%), στην κείμενη νομοθεσία, βλ. τους αντίστοιχους πίνακες στην παράγραφο 8 «Σύγκριση με τα όρια», στο Παράρτημα: «Κανονισμός διενέργειας μετρήσεων των επιπέδων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο περιβάλλον σταθμών κεραιών» της υπ' αριθ. 2300 ΕΦΑ (493) Κοινής Υπουργικής Απόφασης (ΦΕΚ 346/Β/3-3-2008) με θέμα: «Τρόπος διενέργειας των μετρήσεων για την τήρηση των ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από κάθε κεραία».

Οι προαναφερθέντες συνδυασμοί βασικών μονάδων - κεραιών επιτρέπουν την πλήρη ανάλυση του φασματικού περιεχομένου των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στην περιοχή συχνοτήτων από 27 MHz έως 3 GHz (ή από 420 MHz έως 6 GHz) και τον άμεσο συσχετισμό των μετρούμενων τιμών με τα όρια έκθεσης της Ελληνικής Νομοθεσίας. Το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση μια στενής φασματικής περιοχής, όπως για παράδειγμα τις εκπομπές ενός συγκεκριμένου ραδιοφωνικού σταθμού, ή/και για την μέτρηση ευρύτερων φασματικών περιοχών.

Νεκτάριος Σκαμνάκης, Ευθυμία Καλαμπαλίκη, Χριστίνα Τζουμανίκα, Παναγιώτα Τσαπρούνη, Δημήτρης Κουτουνίδης, Αγαμέμνων Γιαλόφας, Ευθύμιος Καραμπέτσος, Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών
Αξιολόγηση της έκθεσης του γενικού πληθυσμού στο περιβάλλον διατάξεων ραντάρ για τον έλεγχο της εναέριας κυκλοφορίας

2.2 Σύστημα EMR-300

Η βασική μονάδα μετρήσεων EMR – 300, της εταιρείας Wandel-Goltermann (πλέον Narda - STS), είναι μια φορητή ψηφιακή μονάδα πεδιομέτρου για ισοτροπικές μετρήσεις, υψηλής ακρίβειας με δυνατότητα αυτόματου μηδενισμού των τιμών ακόμα και υπό παρουσία πεδίου τα οποία, αν κριθεί απαραίτητο, χρησιμοποιούνται επικουρικά για προεπισκόπηση του χώρου, σύμφωνα με τα πρότυπα. Τα μετρούμενα μεγέθη είναι η ένταση ηλεκτρικού πεδίου (E) σε V/m ή η ένταση μαγνητικού πεδίου (H) σε A/m (ανάλογα με τον χρησιμοποιούμενο ανιχνευτή) από τα οποία υπολογίζεται (σε συνθήκες μακράν πεδίου) η πυκνότητα ισχύος ισοδύναμου επιπέδου κύματος (Seq) σε mW/cm^2 ή W/m^2 ή ως ποσοστό των ορίων έκθεσης. Ο ρυθμός δειγματοληψίας, όταν χρησιμοποιείται φορητός υπολογιστής, ρυθμίζεται από το χρήστη. Ανάλογα με τη στρατηγική και την μέθοδο δειγματοληψίας χρησιμοποιούνται και αντίστοιχοι ανιχνευτές.

3. Διαδικασία μέτρησης

3.1 Διαδικασία μέτρησης με το SRM-3000

Η διαδικασία που ακολουθεί περιγράφεται στο Narda-STS Application Note, Radar Measurements with SRM-3000 (http://www.narda-sts.de/pdf/fachartikel/AN_HF_1003_E_Radarmessungen_2007-07-24.pdf). Κατά την διαδικασία αυτή η κεραία-ανιχνευτής του SRM-3000, τοποθετείται σε ειδικό τρίποδο στη εκάστοτε θέση μέτρησης. Η βασική μονάδα τίθεται σε κατάσταση χρονικής ανάλυσης (time analysis mode), με κεντρική συχνότητα τη συχνότητα εκπομπής του ραντάρ, εύρος φασματικής ανάλυσης (resolution bandwidth) 6 MHz και χρήση ανίχνευσης κορυφής (peak detector) και διατήρησης μεγίστου (max hold). Το σύστημα ρυθμίζεται ώστε να καταγράφει την ένδειξη μόνο ενός άξονα της κεραίας, π.χ. στον άξονα X. Έτσι εξασφαλίζεται το ότι οι μετρήσεις είναι αδιάλειπτες. Όταν η ένδειξη σταθεροποιείται, κάτι που επιτυγχάνεται μετά από λίγες περιστροφές της κεραιοδιάταξης του ραντάρ, καταγράφεται η τιμή του πεδίου στο εν λόγω άξονα και η διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τους υπόλοιπους δύο άξονες, δηλ. για τους άξονες Y και Z.

Κατ' αυτόν τον τρόπο μετρούνται απευθείας από το όργανο οι συνιστώσες κορυφής της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε τρεις κάθετους άξονες. Η συνισταμένη αυτών είναι η τιμή του πεδίου κατά την διάρκεια του παλμού. Η τιμή αυτή είναι συγκρίσιμη με το 32-πλάσιο των επιπέδων αναφοράς σε όρους ηλεκτρικού πεδίου ή με το 1000-πλάσιό τους, σε όρους πυκνότητας ισχύος. Επίσης, η τιμή αυτή χρησιμοποιείται στον υπολογισμό του λόγου έκθεσης κατά την διάρκεια του παλμού λ_p .

Ακολουθώντας, η βασική μονάδα τίθεται ξανά σε κατάσταση χρονικής ανάλυσης (time analysis mode), με κεντρική συχνότητα τη συχνότητα εκπομπής του ραντάρ, εύρος φασματικής ανάλυσης (resolution bandwidth) 6 MHz, ανίχνευση ενεργούς τιμής (RMS) και επιλογή υπολογισμού μέσης τιμής (AVG) σε χρονικό διάστημα έξι λεπτών (Average Time: 6 min). Το σύστημα ρυθμίζεται ώστε να καταγράφει την ένδειξη μόνο ενός άξονα της κεραίας, π.χ. τον άξονα X, ώστε οι μετρήσεις να είναι αδιάλειπτες. Μετά την πάροδο του χρονικού διαστήματος των 6 λεπτών, καταγράφεται η τιμή του πεδίου στο άξονα αυτό και η διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τους υπόλοιπους δύο κάθετους άξονες, δηλ. για

Νεκτάριος Σκαμνάκης, Ευθυμία Καλαμπαλίκη, Χριστίνα Τζουμανίκα, Παναγιώτα Τσαπρούνη, Δημήτρης Κουτουνίδης, Αγαμέμνων Γιάλοφας, Ευθύμιος Καραμπέτσος, Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών

Αξιολόγηση της έκθεσης του γενικού πληθυσμού στο περιβάλλον διατάξεων ραντάρ για τον έλεγχο της εναέριας κυκλοφορίας

τους άξονες Y και Z. Κατ' αυτόν τον τρόπο μετρούνται απευθείας από το όργανο οι συνιστώσες της μέσης ενεργούς τιμής E_m της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε τρεις κάθετους άξονες. Η συνισταμένη αυτών είναι η τιμή του πεδίου, λαμβάνοντας υπόψη τον κύκλο εργασίας (duty cycle) καθώς και τον περιορισμένο χρόνο φωτισμού κάθε σημείου λόγω της περιστροφής της κεραίας. Η υπολογιζόμενη μέση τιμή είναι άμεσα συγκρίσιμη με τα επίπεδα αναφοράς και επίσης χρησιμοποιείται στον υπολογισμό του λόγου έκθεσης λ.

3.2 Διαδικασία μέτρησης με το EMR-300

Αρχικά, καταγράφεται η μέγιστη τιμή του μεγέθους της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου σε V/m. Η εν λόγω τιμή χρησιμοποιείται παρακάτω για τον υπολογισμό των τιμών για τις οποίες προβλέπονται περιορισμοί στην υπ. αριθ. 53571/3839 ΚΥΑ (ΦΕΚ 1105/Β/6-9-2000). Αυτές είναι η μέση τιμή και η τιμή κορυφής και αμέσως παρακάτω περιγράφεται πως προκύπτουν οι τιμές αυτές από τις μετρήσεις.

Η μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου αναφέρεται στη τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής του τετραγώνου (γεωμετρικός μέσος όρος) των μεγεθών και η μέση τιμή της πυκνότητας ισχύος αναφέρεται στο μέσο όρο. Τα μεγέθη αυτά είναι συγκρίσιμα με τα αντίστοιχα μεγέθη στους πίνακες της προαναφερθείσας ΚΥΑ (ΦΕΚ 1105/Β/6-9-2000). Για τον υπολογισμό της μέσης τιμής απαιτείται ο υπολογισμός ενός ενδιάμεσου μεγέθους, της τιμής εντός δέσμης.

Η τιμή εντός δέσμης είναι ένα θεωρητικό μέγεθος και αναφέρεται στη μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου καθώς και της πυκνότητας ισχύος αν το ραντάρ δεν περιστρέφονταν και ακτινοβολούσε συνεχώς το σημείο μέτρησης. Η τιμή εντός δέσμης προκύπτει από την μέγιστη τιμή, λαμβάνοντας υπόψη την εξασθένηση που οφείλεται στο ότι ο χρόνος ολοκλήρωσης του οργάνου μέτρησης που χρησιμοποιήθηκε, $t_{int} = 307ms$, είναι σημαντικά μεγαλύτερος σε σχέση με το χρόνο φωτισμού t_{ot} δηλαδή το χρόνο που ακτινοβολείται κάθε σημείο μέτρησης, σε κάθε περιστροφή του ραντάρ.

Ο χρόνος φωτισμού t_{ot} , για σημεία που βρίσκονται σε μακρινή οριζόντια απόσταση σε σχέση με το ενεργό πλάτος της, υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$t_{ot} = \frac{\Delta\phi}{360^\circ} T_{rot} \quad (3)$$

όπου $\Delta\phi$ το οριζόντιο γωνιακό εύρος ημίσειας ισχύος της εκπεμπόμενης δέσμης της ακτινοβολίας και T_{rot} ο χρόνος πλήρους περιστροφής της κεραίας του ραντάρ.

Ο χρόνος φωτισμού t_{ot} , για σημεία που βρίσκονται σε μικρή οριζόντια απόσταση σε σχέση με το ενεργό πλάτος της κεραίας (δηλ. στο εγγύς πεδίο της), υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$t_{ot} = \frac{\sin^{-1}\left(\frac{a_{hor}}{2r}\right)}{180^\circ} T_{rot} \quad (2)$$

Νεκτάριος Σκαμνάκης, Ευθυμία Καλαμπαλίκη, Χριστίνα Τζουμανίκα, Παναγιώτα Τσαπρούνη, Δημήτρης Κουτουνίδης, Αγαμέμνων Γιαλόφας, Ευθύμιος Καραμπέτσος, Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών
Αξιολόγηση της έκθεσης του γενικού πληθυσμού στο περιβάλλον διατάξεων ραντάρ για τον έλεγχο της εναέριας κυκλοφορίας

όπου a_{hor} το (οριζόντιο) ενεργό πλάτος της κεραίας και r η οριζόντια απόσταση από την κεραία του ραντάρ (εκτιμάται σε 80% του φυσικού οριζόντιου πλάτους της κεραίας). Ειδικά για τα σημεία που βρίσκονται σε απόσταση από την κεραία μικρότερη από το πλάτος της κεραίας (κάτι που δεν συμβαίνει στις μετρήσεις που θα παρουσιαστούν παρακάτω), ο χρόνος φωτισμού θεωρείται ίσος με το μισό του χρόνου περιστροφής:

$$t_{oT} = \frac{1}{2} T_{rot} \quad (3)$$

Η εξασθένηση α που οφείλεται στη σημαντική διαφορά του χρόνου ολοκλήρωσης του οργάνου σε σχέση με το χρόνο φωτισμού του σημείου μέτρησης δίνεται (από τον κατασκευαστή του οργάνου), από την ακόλουθη σχέση (σε dB):

$$\alpha = 5 \log \left[1 + \left(\frac{t_{int}}{t_{ot}} \right)^2 \right] \quad (4)$$

Η μέση τιμή της ακτινοβολίας προκύπτει από την τιμή εντός δέσμης λαμβάνοντας υπόψη πως κάθε σημείο ακτινοβολείται μόνο κατά τον χρόνο φωτισμού t_{oT} σε κάθε περιστροφή του ραντάρ που διαρκεί T_{rot} . Η τιμή κορυφής προκύπτει από την τιμή εντός δέσμης θεωρώντας τον κύκλο εργασίας (duty cycle) του ραντάρ ίσο με $PRF \cdot PW = DutyCycle$.

Λόγω της παλμικής διαμόρφωσης του εκπεμπόμενου σήματος του ραντάρ πρέπει (σύμφωνα με τις οδηγίες της κατασκευάστριας εταιρείας, Narda Technical Note 2: Standards-compliant test of non – ionizing radiation on radar equipment, www.narda-sts.de) να εφαρμοστούν ακόμα κάποιοι συντελεστές διόρθωσης στις τιμές που απορρέουν από τα παραπάνω. Οι συντελεστές αυτοί είναι συνάρτηση της ένδειξης του οργάνου και των χαρακτηριστικών διαμόρφωσης του σήματος του ραντάρ. Από τις τιμές αυτές προκύπτει η μέση τιμή των μεγεθών του πεδίου λαμβάνοντας υπόψη ότι κάθε σημείο ακτινοβολείται σε κάθε περιστροφή των ραντάρ μόνο κατά τον χρόνο φωτισμού.

Σύμφωνα με την σημείωση 8 του πίνακα 2 της ΚΥΑ 53571/3839/6-9-2000 στην περίπτωση των παλμικά διαμορφωμένων πεδίων, πρέπει ο μέσος όρος της πυκνότητας ισχύος εφ' όλου του εύρους του παλμού να μην υπερβαίνει το 1000πλάσιο των επιπέδων αναφοράς, ή οι εντάσεις των πεδίων να μην υπερβαίνουν το 32πλάσιο των επιπέδων αναφοράς. Οι παραπάνω περιορισμοί για τις τιμές κατά την διάρκεια των παλμών είναι αυστηρότεροι από τους αντίστοιχους περιορισμούς για την μέση τιμή των μεγεθών εάν το duty cycle είναι μικρότερο από 1/1000. Οι τιμές κορυφής που αναφέρονται παρακάτω αφορούν την μέση τιμή των μεγεθών κατά την διάρκεια εκπομπής του παλμού από το ραντάρ.

4. Αποτελέσματα

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ελάχιστων και των μέγιστων τιμών της μέσης και της τιμής κορυφής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου σε V/m, για κάποιες ενδεικτικές τοποθεσίες εγκατάστασης των υπό μέτρηση ραντάρ. Επίσης, στην στήλη 6 και 7 του εν λόγω πίνακα, αναφέρονται τα επίπεδα αναφοράς της Ελληνικής Νομοθεσίας όπως προκύπτουν εφαρμόζοντας συντελεστή μείωσης 60%, για τις συχνότητες

Νεκτάριος Σκαμνάκης, Ευθυμία Καλαμπαλίκη, Χριστίνα Τζουμανίκα, Παναγιώτα Τσαπρούνη, Δημήτρης Κουτουνίδης, Αγαμέμνων Γιαλόφας, Ευθύμιος Καραμπέτσος, Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών

Αξιολόγηση της έκθεσης του γενικού πληθυσμού στο περιβάλλον διατάξεων ραντάρ για τον έλεγχο της εναέριας κυκλοφορίας

λειτουργίας των εν λόγω ραντάρ. Για τον τρόπο εφαρμογής των συντελεστών μείωσης ορίων 70% και 60% της κείμενης νομοθεσίας, βλ. τη σχετική εγκύκλιο της ΕΕΑΕ (http://www.eeae.gr/gr/docs/ni/_egkiklios_oria.pdf).

Πίνακας 1: Ελάχιστες και μέγιστες μέσες τιμές και τιμές κορυφής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, για κάποιες ενδεικτικές θέσεις εγκατάστασης ραντάρ

Θέση εγκατάστασης Ραντάρ	Ελάχιστη τιμή E (V/m)	Μέγιστη τιμή E (V/m)	Ελάχιστη τιμή E _p (V/m)	Μέγιστη τιμή E _p (V/m)	Επίπεδο αναφοράς (V/m)	32 x επίπεδο αναφοράς (V/m)
Ανατολικό αεροδρόμιο Ελληνικού	0,19	0,27	27,77	48,09	47,2	1510,4
Λόφος Καμάρα	0,16	0,22	3,10	20,25	47,2	1510,4
Πύργος Δ.Α.Α.	0,10	0,12	102,96	120,87	47,2	1510,4
Λόφος Άγιοι Δέκα Κέρκυρας	0,36	1,18	47,75	198,26	47,2	1510,4
Πλησίον Αεροδρομίου Θεσσαλονίκης	0,46	0,53	59,97	62,81	47,2	1510,4
Υμηττός	0,02	0,09	0,91	5,04	47,2	1510,4

Πίνακας 2: Ελάχιστες και μέγιστες τιμές των λόγων έκθεση λ και λ_p, όπως αυτοί υπολογίζονται από τις αντίστοιχες τιμές της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου του Πίνακα 1, για τις ίδιες ενδεικτικές θέσεις εγκατάστασης ραντάρ. Λόγος έκθεσης ίσος με 1 αντιστοιχεί σε ποσοστό 100% των ορίων

Θέση εγκατάστασης ραντάρ	Ελάχιστη τιμή λ	Μέγιστη τιμή λ	Ελάχιστη τιμή λ _p	Μέγιστη τιμή λ _p
Ανατολικό αεροδρόμιο Ελληνικού	1,62E-05	3,27E-05	3,38E-04	1,01E-03
Λόφος Καμάρα	1,15E-05	2,17E-05	4,21E-06	1,80E-04
Πύργος Δ.Α.Α.	4,49E-06	6,46E-06	4,65E-03	6,40E-03
Λόφος Άγιοι Δέκα Κέρκυρας	5,82E-05	6,25E-04	9,99E-04	1,72E-02
Πλησίον Αεροδρομίου Θεσσαλονίκης	9,50E-05	1,26E-04	1,58E-03	1,73E-03
Υμηττός	1,80E-07	3,64E-06	3,63E-07	1,11E-05

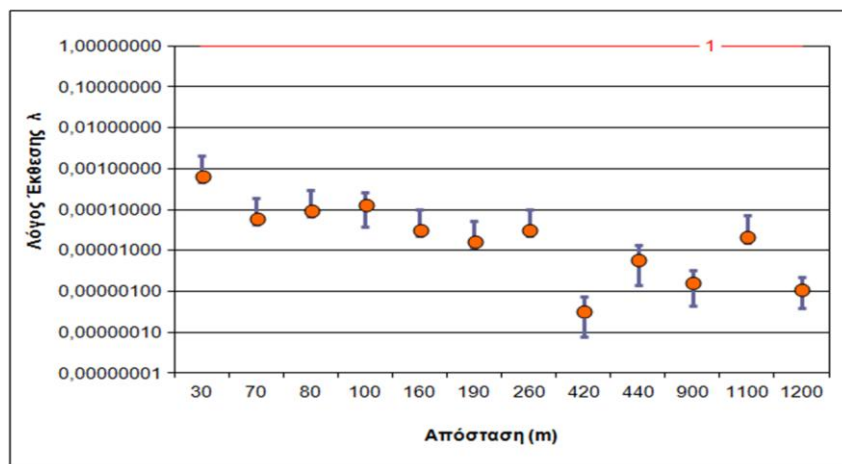
Οι τιμές των λόγων έκθεσης λ και λ_p στον Πίνακα 2, υπολογίζονται από τις τιμές της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου του Πίνακα 1 και τις αντίστοιχες σχέσεις για τους λόγους έκθεσης (1) και (2). Όσον αφορά την ύπαρξη του δευτερεύοντος ραντάρ, αξίζει να σημειωθεί πως διαπιστώθηκε ότι η συνεισφορά του στη συνολική έκθεση, μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα, για όλα τα σημεία μέτρησης. Η μέγιστη τιμή των λόγων έκθεσης λ και λ_p είναι προφανώς 1, που αντιστοιχεί στο 100% των ορίων (τα οποία στην παρούσα εργασία τίθενται στο 60% των αντίστοιχων τιμών της Ε.Ε.).

Νεκτάριος Σκαμνάκης, Ευθυμία Καλαμπαλίκη, Χριστίνα Τζουμανίκα, Παναγιώτα Τσαπρούνη, Δημήτρης Κουτουνίδης, Αγαμέμνων Γιαλόφας, Ευθύμιος Καραμπέτσος, Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Γραφείο Μη Ιοντίζουσών Ακτινοβολιών

Αξιολόγηση της έκθεσης του γενικού πληθυσμού στο περιβάλλον διατάξεων ραντάρ για τον έλεγχο της εναέριας κυκλοφορίας

Για τους Πίνακες 1 και 2, μπορούν να εξαχθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα: Όσον αφορά τη μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, η ελάχιστη τιμή 0,02 V/m βρέθηκε σε οριζόντια απόσταση 420 περίπου μέτρων από την κεραιοδιάταξη του ραντάρ στη θέση Υμηττός και η μέγιστη τιμή 1,18 V/m σε οριζόντια απόσταση 30 περίπου μέτρων από την κεραιοδιάταξη του ραντάρ στο λόφο Άγιοι Δέκα Κέρκυρας. Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν σε τιμές λόγου έκθεσης 1,80E-7 και 6,25E-4 αντίστοιχα (βλέπε Πίνακα 1 και Πίνακα 2). Επίσης, όσον αφορά την τιμή κορυφής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, η ελάχιστη τιμή 0,91 V/m βρέθηκε σε οριζόντια απόσταση 420 περίπου μέτρων από την κεραιοδιάταξη του ραντάρ στη θέση Υμηττός και η μέγιστη τιμή 198,26 V/m σε οριζόντια απόσταση 30 περίπου μέτρων από την κεραιοδιάταξη του ραντάρ στο Λόφο Άγιοι Δέκα Κέρκυρας. Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν σε τιμές λόγου έκθεσης 3,63E-7 και 1,72E-2 αντίστοιχα (βλέπε Πίνακα 1 και Πίνακα 2). Επισημαίνεται ότι, σε κάθε περίπτωση διαπιστώθηκε συμμόρφωση με τα όρια ασφαλούς έκθεσης του γενικού πληθυσμού, όπως αυτά ορίζονται στην κείμενη νομοθεσία.

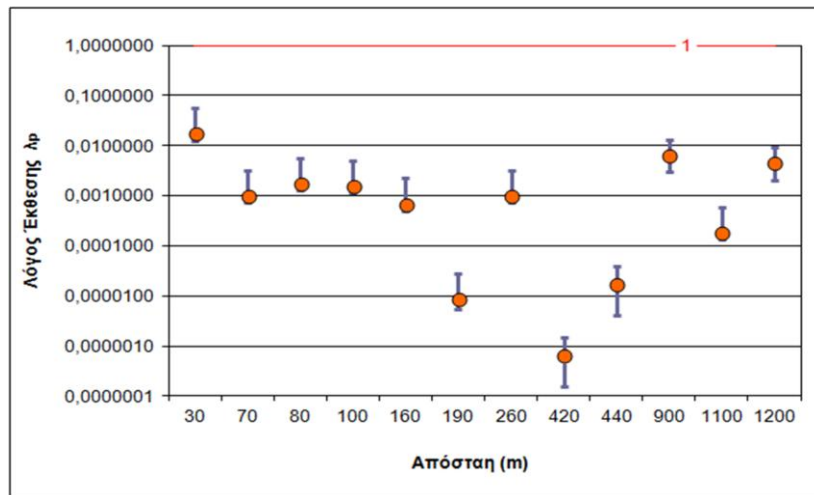
Ακολουθως, στα Σχήματα 1 και 2 απεικονίζεται η μεταβολή του λόγου έκθεσης λ και λ_p της μετρηθείσας έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, συναρτήσει της απόστασης από το εκάστοτε υπό μέτρηση ραντάρ. Αν και οι προαναφερθείσες τιμές δείχνουν να μειώνονται αυξανόμενης της εν λόγω απόστασης, εντούτοις παρατηρείται μία διασπορά αυτών, ειδικότερα στο Σχήμα 2. Η διασπορά των τιμών του λόγου έκθεσης λ στο Σχήμα 1, μπορεί να δικαιολογηθεί από τα τοπογραφικά-υψομετρικά χαρακτηριστικά του κάθε σημείου μέτρησης. Όσον αφορά τη διασπορά των τιμών του λόγου έκθεσης λ_p στο Σχήμα 2, μπορεί να αναφερθεί ότι οφείλεται στα διαφορετικά τεχνικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν το κάθε υπό μέτρηση ραντάρ. Πράγματι, τα προαναφερθέντα ραντάρ λειτουργούν στην περιοχή συχνοτήτων από 1340 έως 16500 MHz, η συχνότητα επανάληψης του παλμού εκπομπής τους (PRF) κυμαίνεται από 300 έως και 9000 Hz, το πλάτος του παλμού τους (PW) κυμαίνεται από 0,04 έως και 1 μ s, το γωνιακό εύρος ημίσειας ισχύος της εκπεμπόμενης δέσμης της ακτινοβολίας τους στο οριζόντιο επίπεδο (@-3db) κυμαίνεται από 0,33° έως και 1,5° και τέλος ο χρόνος μίας πλήρους περιστροφής της κεραίας τους κυμαίνεται από 1 έως 9 sec. Εν κατακλείδι, στην πράξη, όλα τα υπό μέτρηση ραντάρ, διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τα τεχνικά χαρακτηριστικά λειτουργίας τους.



Σχήμα 1: Λόγοι έκθεσης λ της μέσης τιμής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, συναρτήσει της απόστασης από το εκάστοτε υπό μέτρηση ραντάρ, με τις αντίστοιχες αβεβαιότητές τους (σε 95% διάστημα εμπιστοσύνης). Λόγος έκθεσης ίσος με 1 αντιστοιχεί σε ποσοστό 100% των ορίων

Νεκτάριος Σκαμνάκης, Ευθυμία Καλαμπαλίκη, Χριστίνα Τζουμανίκα, Παναγιώτα Τσαπρούνη, Δημήτρης Κουτουνίδης, Αγαμέμνων Γιάλοφας, Ευθύμιος Καραμπέτσος, Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών

Αξιολόγηση της έκθεσης του γενικού πληθυσμού στο περιβάλλον διατάξεων ραντάρ για τον έλεγχο της εναέριας κυκλοφορίας



Σχήμα 2: Λόγοι έκθεσης λ_p της τιμής κορυφής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, συναρτήσει της απόστασης από το εκάστοτε υπό μέτρηση ραντάρ, με τις αντίστοιχες αβεβαιότητές τους (σε 95% διάστημα εμπιστοσύνης). Λόγος έκθεσης ίσος με 1 αντιστοιχεί σε ποσοστό 100% των ορίων

5. Συμπέρασμα

Στην παρούσα εργασία, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα 30 επιτόπιων μετρήσεων που διεξήχθησαν στο περιβάλλον 12 πρωτεύοντων και δευτερευόντων συστημάτων ραντάρ ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας, σε όλη την Ελλάδα, από κλιμάκια της Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας. Σε κάποιες ενδεικτικές θέσεις εγκατάστασης των εν λόγω ραντάρ, παρουσιάζονται οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές των λόγων έκθεσης λ και λ_p . Επίσης, απεικονίζεται γραφικά η μεταβολή των τιμών των λόγων έκθεσης λ και λ_p , συναρτήσει της απόστασης από την εκάστοτε υπό μέτρηση διάταξη ραντάρ, με τις αντίστοιχες αβεβαιότητές τους (σε 95% διάστημα εμπιστοσύνης). Εν κατακλείδι, από όλες τις μετρήσεις προκύπτουν τιμές εξαιρετικά χαμηλότερες των θεσμοθετημένων ορίων έκθεσης του κοινού, για τις εκπομπές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων από τέτοια συστήματα.

6. Βιβλιογραφία

CENELEC EN 50492, *Basic standard for the in-situ measurement of electromagnetic field strength related to human exposure in the vicinity of base stations*, 2008.

International Electrotechnical Commission IEC 62232, *Determination of RF field strength and SAR in the vicinity of radiocommunication base stations for the purpose of evaluating human exposure*, 2010.

ICNIRP (International Commission on Non - Ionizing Radiation Protection), *Guideline for limiting exposure to time - varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)*, Health Physics 74, 494-522; 1998.

Joseph W, Goeminne F, Vermeeren G, Verloock L and Martens L., *Occupational and public field exposure from communication, navigation and radar systems used for air traffic control*, Health Physics 103(6): 750-762; 2012.

Νεκτάριος Σκαμνάκης, Ευθυμία Καλαμπαλίκη, Χριστίνα Τζουμανίκα, Παναγιώτα Τσαπρούνη, Δημήτρης Κουτουνίδης, Αγαμέμνων Γιαλόφας, Ευθύμιος Καραμπέτσος, Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών

Αξιολόγηση της έκθεσης του γενικού πληθυσμού στο περιβάλλον διατάξεων ραντάρ για τον έλεγχο της εναέριας κυκλοφορίας