

# ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΧΑΜΗΛΟΣΥΧΝΩΝ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΥΒΡΙΔΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Ευθύμιος Καραμπέτσος, Ευθυμία Καλαμπαλίκη, Δημήτριος Κουτουνίδης  
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

Στατικά και μαγνητικά πεδία χαμηλών συχνοτήτων δημιουργούνται στους χώρους των αυτοκινήτων υβριδικής τεχνολογίας εξαιτίας των ρευμάτων που διαρρέουν τις καλωδιώσεις που συνδέουν όλα τα βασικά μηχανικά μέρη τους. Προκειμένου να καθοριστούν οι τιμές των πεδίων αυτών στο εσωτερικό της καμπίνας, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στις τέσσερις θέσεις των επιβατών, σε τρία διαφορετικά ύψη (πόδια, θώρακας και κεφάλι), σε διάφορους τύπους (πλήρη ή ήπια υβριδική τεχνολογία) και μοντέλα αυτοκινήτων. Εξαιτίας της συνεχούς εναλλαγής λειτουργίας των δυο κινητήρων καθ' όλη τη διάρκεια κίνησης ενός υβριδικού αυτοκινήτου και ως εκ τούτου της διαρκούς αλλαγής των μετρούμενων τιμών της μαγνητικής επαγωγής (B), οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε τέσσερις διαφορετικές καταστάσεις οδήγησης: σε στάση (έτοιμο για εκκίνηση), κατά τη διάρκεια ομαλής οδήγησης με ταχύτητα 20-40 km/h, κατά τη διάρκεια οδήγησης με ταχύτητα 80-120 km/h και τέλος με ταχύτητα άνω των 120 km/h (σε ορισμένες περιπτώσεις). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι μέγιστες τιμές του μαγνητικού πεδίου εντοπίστηκαν στην περιοχή των ποδιών κατά τη διάρκεια απότομου φρεναρίσματος ή/και έντονης επιτάχυνσης του αυτοκινήτου.

*Λέξεις-Κλειδιά: υβριδικά αυτοκίνητα, μαγνητικά πεδία, έκθεση γενικού πληθυσμού*

## Abstract

Static and extremely low frequency (ELF) magnetic fields are encountered in hybrid technology cars. These fields are mainly due to the currents flowing through the circuits, the motor and the battery. In order to determine the magnetic field levels in the passenger compartment, measurements have been made in all four seats, at three heights (feet, chest and head) in various types (full or mild hybrid) and models of hybrid cars. Due to the fact that the magnetic flux density (B) changes constantly as the car travels, following the functioning sequence of the combustion engine and the electric motor, measurements were performed in 4 different driving conditions: stationary (idling), during travelling at 20-40 km/h and at 80-120 km/h (during high speed cruising) and over 120 km/h. The results showed that the higher values were measured in the feet area of the passenger's seats, during braking and accelerating.

*Keywords: hybrid car, magnetic fields, general public exposure.*

---

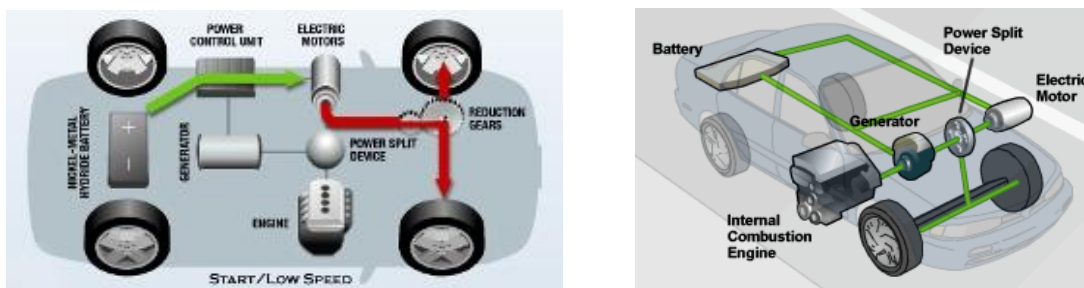
Ε. Καραμπέτσος, Ε. Καλαμπαλίκη, Δ.Κουτουνίδης, Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (Ε.Ε.Α.Ε)  
Μετρήσεις στατικών και χαμηλόσυχνων μαγνητικών πεδίων σε διάφορους τύπους και μοντέλα αυτοκινήτων υβριδικής τεχνολογίας

5<sup>ο</sup> Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας, Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών, Αθήνα, 9-10 Μαΐου 2014

## 1. Εισαγωγή

Οι μετακινήσεις και οι μεταφορές αποτελούν καθοριστικό παράγοντα ανάπτυξης στον σύγχρονο κόσμο. Η κατανάλωση ενέργειας σε αυτό τον τομέα έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Λαμβάνοντας υπόψη, λοιπόν, την αυξημένη ανάγκη για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας καθώς και την ελαχιστοποίηση των παραγόμενων επικίνδυνων καυσαερίων από τα μέσα μεταφοράς, εναλλακτικές τεχνολογίες αποτέλεσαν τα τελευταία χρόνια το κύριο ενδιαφέρον πολλών αυτοκινητοβιομηχανιών. Η ηλεκτρική/υβριδική τεχνολογία είναι αυτή που μπορεί να επιτύχει τη χρυσή τομή μεταξύ επιδόσεων, κατανάλωσης, οικολογικής επιβάρυνσης και ήδη χρησιμοποιείται σε αρκετά μέσα μεταφοράς όπως τρένα, τραμ και μοντέλα αυτοκινήτων σε όλο τον κόσμο.

Τα αυτοκίνητα ηλεκτρικής/υβριδικής τεχνολογίας (Hybrid-Electric Vehicles, HEV) βασίζονται στο συνδυασμό και τη χρήση δυο πηγών ενέργειας: της θερμοδυναμικής, που παράγεται από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης (βενζινοκινητήρας ή πετρελαιοκινητήρας) και της ηλεκτρικής, που παράγεται από τον ηλεκτροκινητήρα. Για τη συνδυασμένη αυτή λειτουργία είναι απαραίτητη η ύπαρξη συστοιχίας συσσωρευτών (μπαταρία), γεννήτριας και μετασχηματιστή ρεύματος.



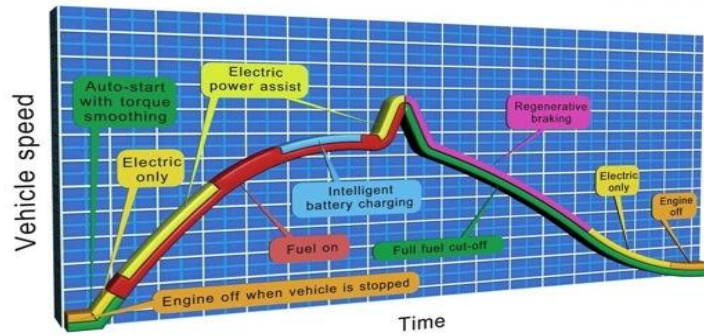
Εικόνα 1: Σχηματική απεικόνιση των μηχανικών μερών ενός υβριδικού αυτοκινήτου (Row, 2012)

Τα κύρια μηχανικά μέρη ενός υβριδικού αυτοκινήτου είναι η μονάδα ελέγχου ισχύος (PCU), η γεννήτρια, ο ηλεκτροκινητήρας, ο κινητήρας εσωτερικής καύσης και η μπαταρία. Η μονάδα ελέγχου είναι υπεύθυνη για τον αποδοτικότερο συνδυασμό των δύο διαφορετικών πηγών ενέργειας. Κατά την εκκίνηση του αυτοκινήτου, όπως επίσης και στην κίνηση με χαμηλές ταχύτητες, το αυτοκίνητο χρησιμοποιεί αποκλειστικά τον ηλεκτροκινητήρα. Σε αυτή τη λειτουργία το αυτοκίνητο δεν χρησιμοποιεί καθόλου βενζίνη/πετρέλαιο και ως εκ τούτου έχει μηδενικές εκπομπές καυσαερίων. Καθώς η ταχύτητα αυξάνεται, το αυτοκίνητο αρχίζει να λειτουργεί μέσω της ενέργειας από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης, ο οποίος όχι μόνο κινεί το αυτοκίνητο αλλά φορτίζει και τη μπαταρία. Κατά τη διάρκεια επιταχύνσεων, ο ηλεκτροκινητήρας βοηθά τον βενζινοκινητήρα/πετρελαιοκινητήρα παρέχοντας του την απαραίτητη ισχύ. Τα πιο εξελιγμένα μοντέλα υβριδικών αυτοκινήτων κάνουν χρήση ενός προηγμένου συστήματος, του συστήματος ανάκτησης ενέργειας μέσω πέδησης (regenerative braking). Σύμφωνα με αυτή την τεχνολογία, σε ένα υβριδικό αυτοκίνητο η κινητική ενέργεια από το φρενάρισμα, μετατρέπεται σε ηλεκτρική, χρησιμοποιώντας τον ηλεκτροκινητήρα ως γεννήτρια, προκειμένου να φορτιστεί η μπαταρία, έτσι ώστε να μην χάνεται ως θερμική ενέργεια τριβών στα δισκόφρενα, όπως συμβαίνει στα συμβατικά αυτοκίνητα.

---

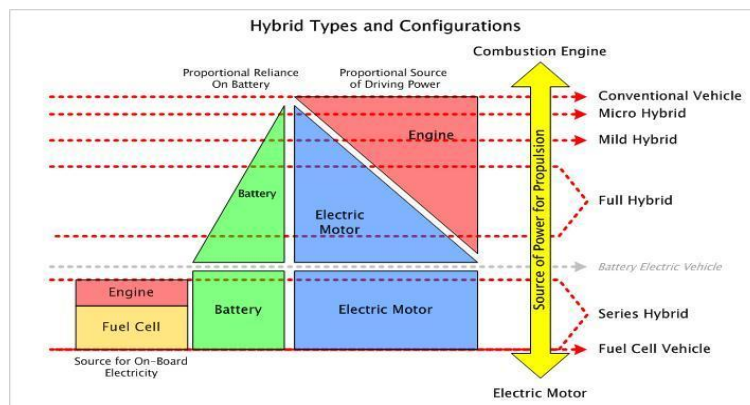
Ε. Καραμπέτσος, Ε. Καλαμπαλίκη, Δ.Κουτουνίδης, Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (Ε.Ε.Α.Ε)  
Μετρήσεις στατικών και χαμηλόσυχων μαγνητικών πεδίων σε διάφορους τύπους και μοντέλα αυτοκινήτων υβριδικής τεχνολογίας

5<sup>ο</sup> Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας, Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών, Αθήνα, 9-10 Μαΐου 2014



Εικόνα 2: Τυπικό διάγραμμα της λειτουργίας ενός υβριδικού αυτοκινήτου κατά τη διάρκεια κίνησής του (Row, 2012)

Τα υβριδικά αυτοκίνητα μπορούν να χωριστούν σε κατηγορίες σύμφωνα με τον βαθμό υβριδοποίησης, δηλαδή το ποσοστό της ισχύος που προσφέρει η εναλλακτική μονάδα κίνησης ως προς την ισχύ που προσφέρει η συμβατική μηχανή εσωτερικής καύσης. Ανάλογα με αυτό το ποσοστό, έχουμε τα μικρο-υβριδικά, τα ήπια (mild) και τα πλήρως (full) υβριδικά οχήματα. Τα όρια βαθμού υβριδοποίησης κάθε κατηγορίας δεν είναι απολύτως ξεκάθαρα καθώς ερμηνεύονται διαφορετικά από κάθε κατασκευαστή.



Εικόνα 3: Διάγραμμα του είδους του υβριδικού αυτοκινήτου ανάλογα με το βαθμό υβριδοποίησης

Η κατηγορία των μικρο-υβριδικών αυτοκινήτων χαρακτηρίζεται από πολύ μικρό βαθμό υβριδοποίησης. Ο ηλεκτροκινητήρας χρησιμοποιείται βοηθητικά ώστε να παρέχει ηλεκτρική ισχύ στα περιφερειακά υποσυστήματα και όχι για να συνεισφέρει στην κίνηση του αυτοκινήτου. Όσον αφορά τα ήπιας τεχνολογίας υβριδικά, ο βαθμός υβριδοποίησης αυξάνεται αρκετά. Υπάρχουν δύο τύποι ήπιας υβριδικής τεχνολογίας - η παράλληλη και η σειριακή. Σ' ένα όχημα παράλληλης ήπιας υβριδικής τεχνολογίας, ο ηλεκτροκινητήρας χρησιμοποιείται κατά την εκκίνηση και επιπλέον υποβοηθά τον κινητήρα κατά την επιτάχυνση, στις περιπτώσεις δηλαδή όπου απαιτείται περισσότερη ενέργεια. Το αυτοκίνητο αυτής της κατηγορίας δεν μπορεί να κινηθεί μόνο με τον ηλεκτροκινητήρα. Λαμβάνει ισχύ από μια μπαταρία που φορτίζεται είτε με τη συλλογή ενέργειας που συνήθως χάνεται με την πέδηση είτε με τη μικρή υπερ-απόδοση του κινητήρα σε ομαλή πορεία. Σε ένα σειριακό, ήπιας τεχνολογίας, υβριδικό όχημα η ενέργεια για την κίνησή

του προέρχεται αποκλειστικά από τον ηλεκτροκινητήρα, όπως ακριβώς και στα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα. Σε αντίθεση με τα αυτοκίνητα των δυο προηγούμενων κατηγοριών, τα πλήρως υβριδικά αυτοκίνητα έχουν την δυνατότητα να κινούνται είτε με τον ηλεκτροκινητήρα, είτε με τον κινητήρα εσωτερικής καύσης, είτε και με τους δύο. Ανάλογα, λοιπόν, με τις συνθήκες οδήγησης οι κινητήρες μπορούν να λειτουργήσουν είτε σε συνεργασία, είτε αυτόνομα. Υπό κανονικές συνθήκες, κατά την εκκίνηση και την οδήγηση σε χαμηλές ταχύτητες, το αυτοκίνητο τροφοδοτείται από τον ηλεκτροκινητήρα μόνο. Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης “αναλαμβάνει” σε υψηλότερες ταχύτητες και, όταν χρειαστεί, ο ηλεκτροκινητήρας παρέχει επιπλέον ισχύ (π.χ. κατά την επιτάχυνση). Σε μεγάλες ταχύτητες, οι ισχυροί ηλεκτροκινητήρες παρέχουν ομαλή και στιγμιαία ενισχυμένη ροπή κατά την επιτάχυνση, έτσι ώστε όλες οι πηγές ενέργειας να συνεργάζονται με τον πιο αποδοτικό τρόπο. Η συμπαγής υβριδική μπαταρία φορτίζεται από την ‘χαμένη’ κινητική ενέργεια κατά την πέδηση ή την επιβράδυνση (regenerative braking) (Row, 2012).

Όπως είναι φανερό, μέσω των διαφόρων τεχνολογιών που εφαρμόζονται στα υβριδικά αυτοκίνητα επιτυγχάνεται μειωμένη κατανάλωση ενέργειας και εκπομπή ρυπογόνων ουσιών στο περιβάλλον. Εξαιτίας όμως της χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας στα υβριδικής τεχνολογίας αυτοκίνητα, έχει ανακύψει το ζήτημα της έκθεσης των επιβατών στα παραγόμενα ηλεκτρομαγνητικά πεδία (Malka 2010, Hartman 2008, Farag 2003, Schmid 2009, Silva 2011). Τα ρεύματα που διαρρέουν τα κυκλώματα του αυτοκινήτου, παράγουν μαγνητικά πεδία χαμηλών συχνοτήτων. Ως εκ τούτου, η εγγύτητα των καλωδίων και της μπαταρίας στην καμπίνα των επιβατών, θα μπορούσε να ευθύνεται για την παρουσία χαμηλόσυχνου μαγνητικού πεδίου και στο εσωτερικό του αυτοκινήτου.

## 2.1 Μεθοδολογία

Τα εξεταζόμενα αυτοκίνητα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: 2 πλήρως υβριδικά crossover SUVs μίας εταιρείας αυτοκινήτων (FHV1&2 - μοντέλα του 2006) και 1 πλήρως υβριδικό αυτοκίνητο μίας άλλης εταιρείας (FHV3 - μοντέλο του 2001), σαν χαρακτηριστικοί εκπρόσωποι της πλήρους υβριδικής τεχνολογίας (FHV - Full Hybrid Vehicle). Όσον αφορά την ήπια υβριδική τεχνολογία (MHV - Mild Hybrid Vehicle) επιλέχθηκαν - από μια τρίτη εταιρεία αυτοκινήτων - 1 σειριακής/παράλληλης, ήπιας τεχνολογίας υβριδικό αυτοκίνητο, μοντέλο του 2006 (MHV1) και 2 παράλληλης, ήπιας τεχνολογίας υβριδικά αυτοκίνητα, μοντέλα του 2010 (MHV2&3). Σε όλα τα εξεταζόμενα μοντέλα, η υβριδική μπαταρία βρίσκεται τοποθετημένη κάτω από τα πίσω καθίσματα του αυτοκινήτου ή κάτω από το χώρο των αποσκευών στο πίσω μέρος του αυτοκινήτου. Οι παραπάνω τεχνικές πληροφορίες προέρχονται αποκλειστικά από τις επίσημες ιστοσελίδες των εταιρειών. Επίσης, πρέπει να αναφερθεί ότι, η επιλογή των συγκεκριμένων μοντέλων υβριδικών αυτοκινήτων καθορίστηκε από την αυξημένη ζήτησή τους, όχι μόνο στην Ελληνική αλλά και στην Ευρωπαϊκή αγορά.

Προκειμένου να καθοριστούν οι τιμές του πεδίου στο εσωτερικό της καμπίνας, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στις τέσσερις θέσεις των επιβατών, σε τρία διαφορετικά ύψη (πόδια, θώρακας και κεφάλι), σε διάφορους τύπους (πλήρη ή ήπια υβριδική τεχνολογία) και μοντέλα υβριδικών αυτοκινήτων. Εξαιτίας της συνεχούς εναλλαγής

λειτουργίας των δυο κινητήρων καθ' όλη τη διάρκεια κίνησης ενός υβριδικού αυτοκινήτου και ως εκ τούτου της διαρκούς αλλαγής των μετρούμενων τιμών της μαγνητικής επαγωγής (B), οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε τέσσερις διαφορετικές καταστάσεις οδήγησης: σε στάση (έτοιμο για εκκίνηση), κατά τη διάρκεια ομαλής οδήγησης με ταχύτητα 20-40 km/h, κατά τη διάρκεια οδήγησης με ταχύτητα 80-120 km/h και τέλος με ταχύτητα άνω των 120 km/h (σε ορισμένες περιπτώσεις).

Ως όργανο μέτρησης της μαγνητικής επαγωγής (B) πεδίων χαμηλών συχνοτήτων χρησιμοποιήθηκε η μονάδα EFA-300 της εταιρείας Narda. Πρόκειται για φορητή ψηφιακή μονάδα μέτρησης πεδίου για ισοτροπικές και μη, μετρήσεις, με επιλεγμένο εύρος φάσματος μετρήσεων στην περιοχή 5 Hz - 32 kHz (Narda, 2002). Οι κατευθυντήριες οδηγίες της ICNIRP (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection - Διεθνής Επιτροπή για την Προστασία από τις Μη Ιοντίζουσες Ακτινοβολίες), για την προστασία του κοινού έχουν υιοθετηθεί σε πολλές χώρες ως όρια έκθεσης, όπως επίσης και στην Ελλάδα. Πρέπει εδώ να τονιστεί ότι, τα αποτελέσματα των συγκεκριμένων μετρήσεων αναφέρονται στα όρια έκθεσης της ICNIRP που δημοσιεύτηκαν το 1998 (ICNIRP, 1998), και όχι σε αυτά του 2010 (ICNIRP, 2010), εξαιτίας της μεγαλύτερης αυστηρότητας τους.

Ο υπολογισμός της αβεβαιότητας των μετρήσεων έγινε λαμβάνοντας υπόψη τα σφάλματα κατά την διαδικασία βαθμονόμησης των οργάνων μέτρησης και των ανιχνευτών, τα σφάλματα απόκρισης συχνότητας του οργάνου (1%) και τα σφάλματα ανομοιογένειας του πεδίου (0.8%). Η διευρυμένη αβεβαιότητα των μετρήσεων του μαγνητικού πεδίου υπολογίστηκε  $\pm 5,5\%$  της ένδειξης σε  $\mu\text{T}$  και  $\pm 6,3\%$  της ένδειξης ως ποσοστό των ορίων (%) έκθεσης του κοινού σύμφωνα με τις κατευθυντήριες οδηγίες της ICNIRP του 1998, (IEC 61786, 1998).

Εξαιτίας της συνεχούς αλλαγής της μετρούμενης μαγνητικής επαγωγής καθ' όλη τη διάρκεια κίνησης ενός υβριδικού αυτοκινήτου, κατέστη αναγκαίο να καταγραφούν οι μέγιστες τιμές του B και όχι οι στιγμιαίες, όπως φαίνεται και σε προηγούμενη δημοσίευσή μας (Karabetsos, 2010). Λόγω, όμως, της μεταβλητότητας του συχνοτικού περιεχομένου του παραγόμενου πεδίου, στη συγκεκριμένη εργασία, καταγράφηκαν και παρουσιάζονται μόνο οι τιμές του B ως ποσοστό των ορίων έκθεσης της ICNIRP.

Οι μετρήσεις του στατικού μαγνητικού πεδίου έγιναν με το όργανο ETM-1 που κατασκευάζεται από την εταιρία Metrolab Instruments SA. Το όργανο αυτό χρησιμοποιεί έναν ειδικό αισθητήρα με στοιχεία HALL για την μέτρηση της μαγνητικής επαγωγής (B σε mT) στους τρεις άξονες του χώρου, παρέχοντας την δυνατότητα ισοτροπικών ή μη μετρήσεων, με ακρίβεια  $\pm 2\%$ , ανεξαρτήτου κατεύθυνσης του αισθητήρα (Metrolab, 1998). Μετρήσεις του παραγόμενου χαμηλόσυχνου ηλεκτρικού πεδίου δεν πραγματοποιήθηκαν, καθώς ο μεταλλικός σκελετός του αυτοκινήτου που διαχωρίζει τα ηλεκτρικά κυκλώματα από τους χώρους των επιβατών, επιτυγχάνει τον μηδενισμό των τιμών της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου (E) στο εσωτερικό του αυτοκινήτου.

Πέραν των παραγόμενων πεδίων από τον ηλεκτροκινητήρα, τα καλώδια και την μπαταρία, μαγνητικά πεδία δημιουργούνται επίσης, εξαιτίας της κίνησης των ακτινωτών ελαστικών του αυτοκινήτου με ασάλι (steel belted radial tyres) και τα οποία είναι δυνατόν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Στην περίπτωση που το

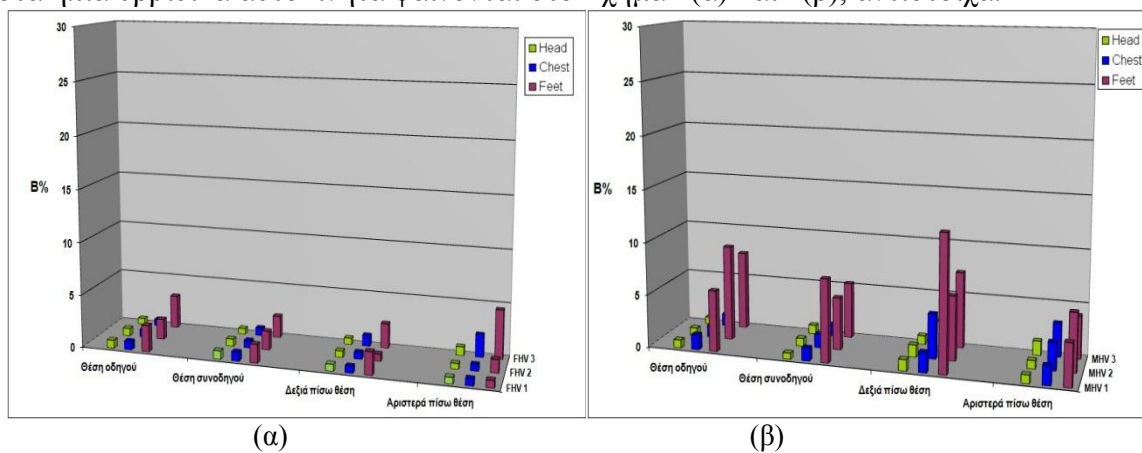
---

Ε. Καραμπέτσος, Ε. Καλαμπαλίκη, Δ.Κουτουνίδης, Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (Ε.Ε.Α.Ε)  
Μετρήσεις στατικών και χαμηλόσυχνων μαγνητικών πεδίων σε διάφορους τύπους και μοντέλα αυτοκινήτων υβριδικής τεχνολογίας

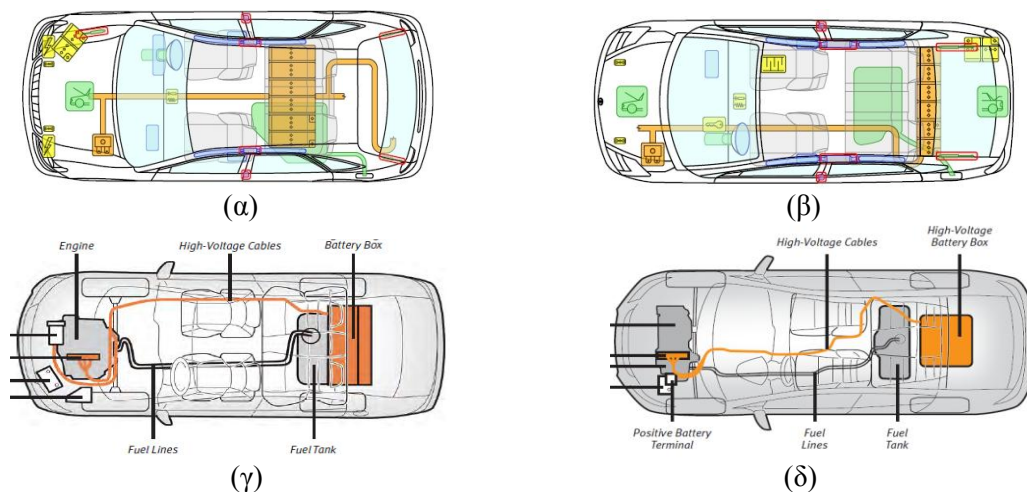
αυτοκίνητο βρίσκεται σε στάση, τα πεδία αυτά είναι αμελητέα, όταν όμως το αυτοκίνητο βρίσκεται σε κίνηση, μαγνητικά πεδία αρκετών  $\mu T$  δημιουργούνται στο περιβάλλον γύρω από τα ελαστικά, με τις μεγαλύτερες τιμές να εντοπίζονται σε κοντινή απόσταση από αυτά (Stankowski 2006, Milham 1999). Προκειμένου να διαχωρίσουμε τα πεδία αυτά από τα πεδία που προέρχονται μόνο από το υβριδικό σύστημα του αυτοκινήτου, οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε σημεία μακριά από τις πόρτες και τους τροχούς.

## 2.2 Αποτελέσματα

Αρχικά, οι μετρήσεις έλαβαν χώρα όταν τα υβριδικά αυτοκίνητα ήταν σε στάση (έτοιμα για εκκίνηση), έχοντας κλειστά όλα τα συστήματα εξαερισμού και κλιματισμού προκειμένου να αποκλειστεί η ύπαρξη μαγνητικών πεδίων προερχόμενα από τη λειτουργία αυτών (Vedholm, 1996). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων στα πλήρως και στα ήπια υβριδικά αυτοκίνητα φαίνονται στο Σχήμα 1(α) και 1(β), αντίστοιχα.



Σχήμα 1: Οι τιμές της μαγνητικής επαγωγής (B) ως ποσοστό των ορίων έκθεσης της ICNIRP του 1998 για το γενικό πληθυσμό στις διάφορες θέσεις εντός των (α) πλήρως και (β) ήπιων υβριδικών, εν στάσει.

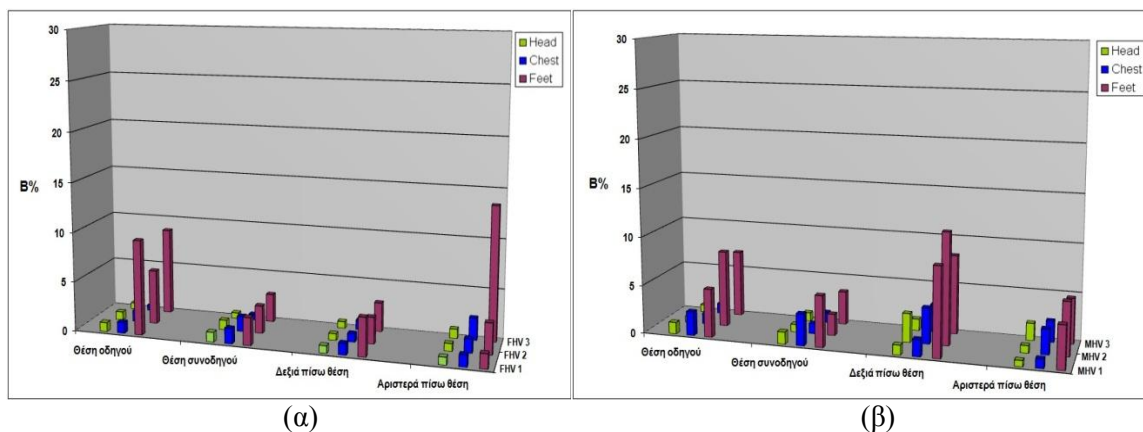


Σχήμα 2: Απεικόνιση της θέσης των καλωδίων στα (α) FHV1 & 2, (β) FHV3, (γ) MHV1 και (δ) MHV2 & 3 (Moditech, 2011)

Ε. Καραμπέτσος, Ε. Καλαμπαλίκη, Δ.Κουτουνίδης, Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (Ε.Ε.Α.Ε) Μετρήσεις στατικών και χαμηλόσυχνων μαγνητικών πεδίων σε διάφορους τύπους και μοντέλα αυτοκινήτων υβριδικής τεχνολογίας

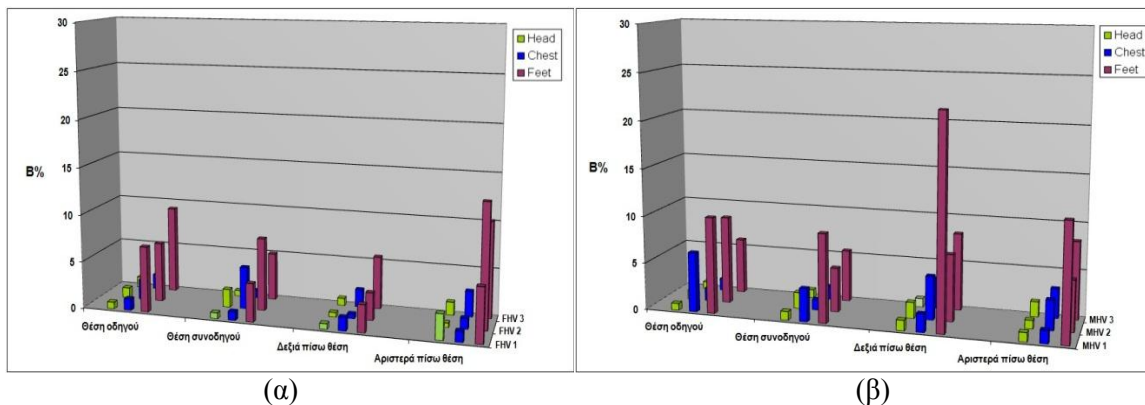
Στα FHV1 & 2, οι τιμές του B ως ποσοστό των ορίων έκθεσης της ICNIRP του 1998 ήταν σχεδόν σταθερές σε όλες τις θέσεις μέτρησης ενώ στο FHV3 οι υψηλότερες τιμές εντοπίστηκαν στη θέση του οδηγού και στην πίσω αριστερά θέση. Όσον αφορά τα ήπια υβριδικά αυτοκίνητα, οι τιμές βρέθηκαν αρκετά μεγαλύτερες και πιο συγκεκριμένα, στο MHV1 οι μέγιστες τιμές μετρήθηκαν στη θέση του συνοδηγού και την πίσω δεξιά θέση ενώ στα MHV2 & 3 στη θέση του οδηγού και στην πίσω δεξιά θέση. Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν αρκετά εύκολα να δικαιολογηθούν, αν λάβουμε υπόψη μας τη διαφορετική θέση των καλωδίων σε κάθε αυτοκίνητο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2. Στα FHV1 & 2, τα καλώδια είναι τοποθετημένα στο κέντρο, στο FHV3 βρίσκονται στην αριστερή πλευρά του αυτοκινήτου, στο MHV1 στη δεξιά πλευρά και τέλος, στα MHV2 & 3 τα καλώδια διατρέχουν το αυτοκίνητο από την αριστερή προς τη δεξιά πλευρά του.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις κατά τη διάρκεια κίνησης των αυτοκινήτων με ταχύτητες 20-40 km/h, όταν δηλαδή ο κινητήρας τροφοδοτείται είτε μόνο από τον ηλεκτροκινητήρα είτε από συνδυασμό αυτού με τον κινητήρα εσωτερικής καύσης. Σε αυτή την κατάσταση, οι τιμές που μετρήθηκαν είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες στο προηγούμενο σενάριο. Στα FHV1 και FHV2, παρατηρήθηκε αξιοσημείωτη αύξηση των τιμών στην περιοχή των ποδιών στη θέση του οδηγού ενώ στο FHV3 οι μέγιστες τιμές εντοπίστηκαν στην περιοχή των ποδιών, στη θέση του οδηγού και στην πίσω αριστερά θέση (Σχήμα 3α). Αντίστοιχα, στο MHV1, οι μέγιστες τιμές μετρήθηκαν στις δεξιές θέσεις του αυτοκινήτου ενώ στα MHV2 και MHV3 στη θέση του οδηγού και στην πίσω δεξιά θέση, όπως ακριβώς και στο προηγούμενο σενάριο (Σχήμα 3β).



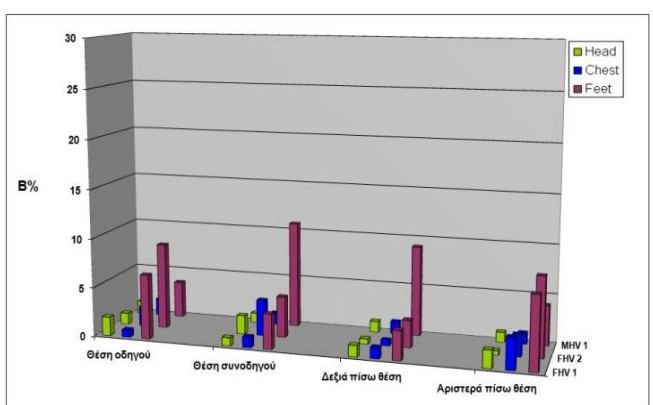
Σχήμα 3: Οι τιμές της μαγνητικής επαγωγής (B) ως ποσοστό των ορίων έκθεσης της ICNIRP του 1998 για το γενικό πληθυσμό στις διάφορες θέσεις εντός των (α) πλήρως και (β) ήπιων υβριδικών, κατά τη διάρκεια κίνησης με ταχύτητες 20-40 km/h.

Επίσης, μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν και κατά τη διάρκεια κίνησης των αυτοκινήτων με ταχύτητες 80-120 km/h, όταν δηλαδή γίνεται συνδυασμένη χρήση του ηλεκτροκινητήρα με τον πετρελαιοκινητήρα/βενζινοκινητήρα. Σε όλες τις θέσεις μέτρησης, οι τιμές βρέθηκαν μεγαλύτερες από ότι σε όλες τις προηγούμενες καταστάσεις, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4. Πρέπει να τονιστεί ότι, η μέγιστη τιμή, στο MHV1, που μετρήθηκε στην πίσω δεξιά θέση, προήλθε κατά τη διάρκεια επιβράδυνσης και με ταυτόχρονη φόρτιση της μπαταρίας.



Σχήμα 4: Οι τιμές της μαγνητικής επαγωγής (B) ως ποσοστό των ορίων έκθεσης της ICNIRP του 1998 για το γενικό πληθυσμό στις διάφορες θέσεις εντός των (α) πλήρως και (β) ήπιων υβριδικών, κατά τη διάρκεια κίνησης με ταχύτητες 80-120 km/h.

Τέλος, σε ορισμένα από τα αυτοκίνητα (FHV1, FHV2 και MHV1) υπήρξε η δυνατότητα να πραγματοποιηθούν μετρήσεις και σε αρκετά μεγάλες ταχύτητες (πάνω από 120 km/h). Σε αυτή την κατάσταση, λειτουργεί μόνο ο κινητήρας εσωτερικής καύσης και ταυτόχρονα φορτίζεται η μπαταρία. Οι τιμές που μετρήθηκαν στο MHV1 είναι αρκετά μικρότερες σε σχέση με την προηγούμενη κατάσταση, ενώ όσον αφορά τα FHV1 & 2 οι τιμές είναι παρόμοιες με το προηγούμενο σενάριο, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.

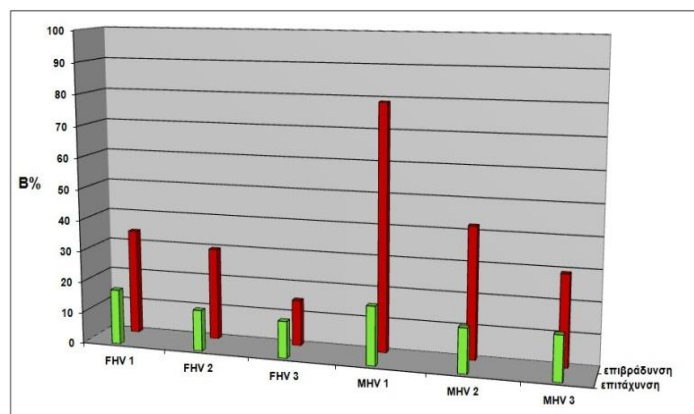


Σχήμα 5: Οι τιμές της μαγνητικής επαγωγής (B) ως ποσοστό των ορίων έκθεσης της ICNIRP του 1998 για το γενικό πληθυσμό στις διάφορες θέσεις εντός των FHV1, FHV2 και MHV1, κατά τη διάρκεια κίνησης σε υψηλές ταχύτητες (πάνω από 120 km/h).

Επιπρόσθετα, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις, κατά τη διάρκεια της εκκίνησης των αυτοκινήτων, σε θέσεις κοντά στην μπαταρία. Στο MHV1, η μέγιστη τιμή άγγιξε το 48,8% των ορίων έκθεσης της ICNIRP ενώ σε όλα τα FHV έφτασε μόλις στο 6,64%.

Επίσης, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις, σε όλα τα εξεταζόμενα υβριδικά αυτοκίνητα, κατά τη διάρκεια έντονων επιταχύνσεων - όπου ο ηλεκτροκινητήρας παρέχει επιπλέον ισχύ - και απότομων επιβραδύνσεων - όπου γίνεται χρήση του συστήματος ανάκτησης ενέργειας μέσω πέδησης (regenerative braking). Παρατηρήθηκε αξιοσημείωτη αύξηση των μετρούμενων τιμών στις περιοχές των ποδιών, στις θέσεις δηλαδή που βρίσκονται εγγύτερα στα καλώδια και την μπαταρία, όπως απεικονίζεται και στο Σχήμα 6.





Σχήμα 6: Οι τιμές της μαγνητικής επαγωγής (B) ως ποσοστό των ορίων έκθεσης της ICNIRP του 1998 για το γενικό πληθυσμό στις διάφορες θέσεις εντός των υβριδικών αυτοκινήτων, κατά τη διάρκεια έντονων και απότομων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων

Το στατικό μαγνητικό πεδίο μετρήθηκε, κατά τη διάρκεια όλων των διαφορετικών σεναρίων οδήγησης στην περιοχή των ποδιών και οι τιμές κυμάνθηκαν από 0,08 έως 0,95 mT, αρκετές φορές μικρότερες από την τιμή του ορίου των 40 mT που αφορά στην έκθεση του γενικού πληθυσμού (ICNIRP, 2009).

### 3. Συμπεράσματα

Είναι εμφανές ότι, η διαφορετική υβριδική τεχνολογία (ήπια ή πλήρης) που χρησιμοποιείται σε κάθε αυτοκίνητο έχει άμεση επίδραση στα αποτελέσματα των μετρήσεων. Οι τιμές του χαμηλόσυχνου μαγνητικού πεδίου ποικίλουν ανάλογα με τον βαθμό υβριδοποίησης του κάθε αυτοκινήτου. Παραδείγματος χάριν, το MHV1 χρησιμοποιεί τον ηλεκτροκινητήρα μόνο σε συνδυασμό με τον κινητήρα εσωτερικής καύσης ενώ τα FHV μπορούν να κινούνται, σε χαμηλές ταχύτητες, αποκλειστικά με την ηλεκτρική ενέργεια. Επίσης, βασικό ρόλο παίζει ο σχεδιασμός του κάθε αυτοκινήτου όπως επίσης και η θέση των καλωδίων σε σχέση με την καμπίνα των επιβατών.

Αξίζει εδώ, όμως, να σημειωθεί ότι, ενώ σύμφωνα με τα παραπάνω θα ήταν αναμενόμενο να μετρηθούν παρόμοιες τιμές στα αυτοκίνητα της ίδιας υβριδικής τεχνολογίας και κατασκευής (π.χ στα MHV2 και MHV3), δεν παρατηρήθηκε κάτι τέτοιο. Πρέπει, λοιπόν, να τονιστεί ότι, όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν κάτω από διαφορετικές συνθήκες οδήγησης, σε διαφορετικές τοποθεσίες και με διαφορετικό οδηγό κάθε φορά. Επομένως, οι διαφορές που παρατηρούνται στα ίδιας τεχνολογίας και μάρκας αυτοκίνητα, οφείλονται στον ανθρώπινο παράγοντα.

Συμπερασματικά, όσον αφορά όλα τα εξεταζόμενα αυτοκίνητα σε όλες τις διαφορετικές καταστάσεις οδήγησης, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι τιμές του παραγόμενου χαμηλόσυχνου μαγνητικού πεδίου είναι χαμηλότερες από τις τιμές αναφοράς της ICNIRP του 1998 για τα όρια έκθεσης του γενικού πληθυσμού. Οι μέγιστες τιμές εντοπίστηκαν κατά τη διάρκεια επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων, στην περιοχή των ποδιών. Τέλος, είναι εμφανές ότι τα αποτελέσματα των μετρήσεων εξαρτώνται όχι μόνο από την υβριδική τεχνολογία και την κατασκευή του κάθε αυτοκινήτου αλλά και από την συμπεριφορά του κάθε οδηγού (ανθρώπινος παράγοντας).

---

Ε. Καραμπέτσος, Ε. Καλαμπαλίκη, Δ.Κουτουνίδης, Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (Ε.Ε.Α.Ε)  
Μετρήσεις στατικών και χαμηλόσυχνων μαγνητικών πεδίων σε διάφορους τύπους και μοντέλα αυτοκινήτων υβριδικής τεχνολογίας

#### 4. Βιβλιογραφία

- Farag A.S., Hussain H., Said I., Kader M. A. and Rahman N. A., “*Electromagnetic Fields associated with transportation systems in Malaysia*”, Proceedings of the International Conference on Non-Ionizing Radiation at UNITEN (ICNIR 2003)
- Hartman S., “*EMF test of 2007 Toyota Prius Hybrid*”, Electromagnetic Health Organization (2008)
- 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)
- ICNIRP (International Commission on Non - Ionizing Radiation Protection), *Guidelines for limiting exposure to time - varying electric and magnetic fields (1 Hz - 100 kHz)*, Health Physics 99(6), 818-836 (2010)
- ICNIRP (International Commission on Non – Ionizing Radiation Protection) *Guidance on limits of exposure to static magnetic fields*, Health Physics, 96 (4), 504-514 (2009)
- IEC 61786, *Measurement of Low-Frequency Magnetic and Electric Fields with Regard to Exposure of Human Beings - Special Requirements for Instruments and Guidance for Measurements* (1998)
- Karabetsos E., Kalampaliki E., Tsanidis G., Koutounidis D., Skamnakis N., Kyritsi T. and Yalofas A., “*EMF measurements in hybrid technology cars*”, *Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Workshop on Biological Effects of Electromagnetic Fields*”, Bodrum, Turkey, 10-14 October 2010, <http://www.istanbul.edu.tr/6internatwshopbioeffemf/cd/index.html>
- Malka N., Halgamuge, Chathurika D., Abeyrathne, Priyan M., “*Measurement and analysis of electromagnetic fields from trams, trains and hybrid cars*”, *Radiation Protection Dosimetry* (2010) 141(3): 255-268
- Metrolab Instruments SA, *ETM-1 3-axis Hall Magnetometer User's Manual*, Geneva (1998)
- Milham S., Hatfield J. B. and Tell R., “*Magnetic fields from steel - belted radial tires: implications for epidemiologic studies*”, *Bioelectromagnetics* 20, 440-445 (1999)
- Moditech, <http://www.moditech.com> (Accessed 12 December 2011)
- Narda Safety Test Solutions, *EFA -200/-300 EM Field Analyzer Operating Manual*, Pfullingen (2002)
- Row R., *Mild Hybrid Vs. Strong Hybrid*, [http://www.ehow.com/about\\_6595290\\_mild-hybrid-vs\\_-strong-hybrid.html](http://www.ehow.com/about_6595290_mild-hybrid-vs_-strong-hybrid.html) (Accessed 10 January 2012)
- Schmid G., Überbacher R., Cecil S., Petric B., Göth P., “*Bestimmung der Exposition durch Magnetfelder alternativer Antriebskonzepte*”, Bundesamt für Strahlenschutz (BFS), October 2009, [http://www.bfs.de/en/bfs/druck/Ufoplan/Bestimmung\\_der\\_Exposition\\_durch\\_Magnetfelder\\_alternativer\\_Antriebskonzepte](http://www.bfs.de/en/bfs/druck/Ufoplan/Bestimmung_der_Exposition_durch_Magnetfelder_alternativer_Antriebskonzepte)
- Silva F., Aragon M, “*Electromagnetic interferences from electric/hybrid vehicles*”, General Assembly and Scientific Symposium, 2011 XXXth URSI, Istanbul (2011) pp: 1-4
- Stankowski S., Kessi A., Becheiraz O., Meier-Engel K. and Meies M., “*Low Frequency Magnetic field induced by car tire magnetization*”, *Health Phys* 90 (2), 148-153 (2006)
- Vedholm K. and Hamnerius Y., “*Personal Exposure Resulting from Low Level Low Frequency Electromagnetic Fields in Automobiles*”, 1996, Department of Electromagnetics, Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden

---

Ε. Καραμπέτσος, Ε. Καλαμπαλίκη, Δ.Κουτουνίδης, Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (Ε.Ε.Α.Ε)  
Μετρήσεις στατικών και χαμηλόσυχνων μαγνητικών πεδίων σε διάφορους τύπους και μοντέλα αυτοκινήτων υβριδικής τεχνολογίας