

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ ΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ ΤΟΥ ΠΥΡΗΝΙΚΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ (NMR)

Γ. Παπαβασιλείου¹, Θ.Γ. Μαρής², Γ. Γουρζουλίδης³, Κ. Κουτσογιάννης⁴, Α. Χριστοδούλου⁵

¹Δ/ντής ΠΠΥΦΔΝΜ, ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος, Επικεφαλής εργαστηρίου NMR Τομέα Υλικών

²Επίκουρος Καθηγητής Ιατρικής Φυσικής, Τμήμα Ιατρικής, Πανεπιστήμιο Κρήτης

³Τμήμα Προσδιορισμού Φυσικών Παραγόντων, ΚΥΑΕ, Υπουργείο Εργασίας

⁴Επ. Καθ. Ιατρικής Φυσικής & Ηλεκτροφυσιολογίας, Τμήμα Φυσικοθεραπείας, ΤΕΙ Πάτρας

⁵Γενικός Δ/ντής Υγείας & Ασφάλειας της Εργασίας, Υπουργείο Εργασίας

e-mail: ggourz@yahoo.com

Περίληψη

Η προστασία των εργαζομένων από την έκθεσή τους σε Η/Μ πεδία θα ενταχθεί στην εθνική νομοθεσία μέχρι τον Ιούλιο του 2016 με την εναρμόνιση της οδηγίας 2013/35/ΕΕ, η οποία αποτελεί ειδική οδηγία της «γενικής» οδηγίας πλαίσιο 89/391/ΕΕΚ για τους φυσικούς παράγοντες, ενώ παράλληλα εντάσσεται στην συνολική νομοθεσία για την Υγεία και την Ασφάλεια των εργαζομένων (ΥΑΕ). Λόγω του ρόλου που το στατικό μαγνητικό πεδίο έπαιξε στην εξέλιξη της οδηγίας για τα Η/Μ πεδία, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στους χώρους του **Πυρηνικού Μαγνητικού Συντονισμού (NMR) του Τομέα Υλικών του ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος, οι οποίοι έχουν συστήματα μέχρι και 9,4T!** Η μέθοδος NMR αποτελεί μέθοδο επιλογής για την μελέτη της δομής της ύλης μέσω των μαγνητικών της ιδιοτήτων. Οι τιμές του στατικού μαγνητικού πεδίου ελέγχθηκαν ως προς τα νέα όρια της οδηγίας 2013/35/EU, αλλά και ως προς τις γενικές αρχές ΥΑΕ.

Λέξεις-Κλειδιά: στατικό μαγνητικό πεδίο, ηλεκτρομαγνητικά πεδία, υγεία και ασφάλεια εργαζομένων (ΥΑΕ), NMR.

Abstract

National legislation concerning the protection of workers from exposure to EMF will harmonize directive 2013/35/EU by July 2016. This directive is a specific one of the framework directive 89/391/EEC and is part of the overall legislation for Health and Safety of Workers. Due to the role that static magnetic field has played in the evolution of directive, the laboratory of NCFSS Demokritos' NMR System has been chosen for measurements. The systems of the laboratory exhibit static magnetic fields up to 9,4T since NMR is a method of choice for the magnetic properties of materials. The measured static magnetic field values were compared to the limits given by the directive 2013/35/EU and to the main principles of Health and Safety of Workers.

Keywords: static magnetic field, electromagnetic fields, Health and Safety of Workers, NMR.

1. Εισαγωγή

Η ολοκλήρωση της νομοθεσίας για τα Η/Μ πεδία συνάντησε δυσκολίες στον καθορισμό των ορίων του στατικού μαγνητικού πεδίου κυρίως για το μαγνητικό τομογράφο, όπου τελικά υπήρξε και εξαίρεση (Karpowicz 2011, Γουρζουλίδης 2012). Ο προβληματισμός για τα όρια οδήγησε σε αλλαγή της επιστημονικής θεώρησης για το στατικό μαγνητικό πεδίο, αύξηση των ορίων, αλλά και σε δημιουργία οδηγιών για την κίνηση των εργαζομένων σε αντίστοιχους χώρους, όπως θα αναπτυχθεί διεξοδικότερα παρακάτω (ICNIRP 2009-14, BMAS 2009). Λόγω των υψηλών μαγνητικών πεδίων που αναμένονται να αναπτυχθούν τα επόμενα χρόνια στους χώρους εργασίας και των εξαιρέσεων που η νομοθεσία θα παρέχει (με αυξημένη επίβλεψη της υγείας των εργαζομένων) κρίθηκε απαραίτητο να γίνουν μετρήσεις σε αντίστοιχους χώρους εργασίας. Ως τέτοιο επιλέχθηκε το σύστημα NMR του Τομέα Υλικών του ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος, το οποίο παρουσιάζει υψηλές, ονομαστικές, τιμές στατικού μαγνητικού πεδίου.

Στη συνέχεια θα αναπτυχθούν: (α) τα ζητήματα που έχουν να κάνουν με τη μέθοδο NMR και αφορούν στις μετρήσεις, (β) οι βασικές αρχές για την ΥΑΕ, (γ) οι βασικές αρχές για τα Η/Μ πεδία, (δ) οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν και η σύγκρισή τους με τα αντίστοιχα όρια και τέλος (ε) προτάσεις και συμπεράσματα για τον χώρο του εργαστηρίου συνολικά.

2. Μεθοδολογία

2.1 Η μέθοδος NMR (ΠΜΣ)

Η μέθοδος του Πυρηνικού Μαγνητικού Συντονισμού (ΠΜΣ), Nuclear Magnetic Resonance (NMR) ανακαλύφθηκε ανεξάρτητα από τους Purcell και Bloch (Bloch *et al* (1946), Purcell *et al* (1946)). Για την ανακάλυψή τους αυτή οι δύο επιστήμονες τιμήθηκαν με το βραβείο Nobel φυσικής το 1952. Από τότε μέχρι σήμερα η τεχνική του ΠΜΣ αποτελεί ένα βασικό ερευνητικό εργαλείο που χρησιμοποιείται σε ευρεία κλίμακα στη χημεία, τη φυσική και τη βιολογία για τη μελέτη των χημικών δομών (πιστοποίηση χημικών ουσιών) και τη μελέτη του χημικού περιβάλλοντος διαφόρων χημικών ενώσεων από την πιο απλή μέχρι την πιο σύνθετη.

Η μέθοδος ΠΜΣ στηρίζεται αρχικά στην εφαρμογή ενός ισχυρού μαγνητικού πεδίου από **0.5T μέχρι 20T** με χρήση **αυτοθωρακισμένων υπεραγωγίων μαγνητών**. Για σύγκριση το μαγνητικό πεδίο στην επιφάνεια της γης είναι μόλις 0.1-0.5 mT. Το φαινόμενο ΠΜΣ στηρίζεται στην αλληλεπίδραση: (α) ενός ισχυρού εξωτερικού στατικού μαγνητικού πεδίου και (β) ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων (20MHz – 900MHz) με τους πυρήνες των ατόμων της ύλης. Στην εφαρμογή ενός ομογενούς εξωτερικού μαγνητικού πεδίου το σύστημα των πυρήνων συμπεριφέρεται παραμαγνητικά. Ομάδες πυρήνων δηλαδή προσανατολίζονται σχεδόν παράλληλα με τον κύριο άξονα εφαρμογής του εξωτερικού πεδίου.

Το συνολικό σύστημα των πυρήνων αποκτά τελικά μια επαγόμενη μακροσκοπικά ανιχνεύσιμη πυρηνική μαγνήτιση. Σύμφωνα με την κλασική θεώρηση το άνυσμα της

επαγόμενης πυρηνικής μαγνήτισης δεν παραμένει σταθερό με τον χρόνο. Το συνολικό άνυσμα της πυρηνικής μαγνήτισης λόγω της συνολικής ιδιοστροφορμής που αποκτά εξαιτίας των επιμέρους πυρηνικών «spin» που το αποτελούν, εκτελεί τελικά κλασσική μετάπτωση Larmor με φυσική συχνότητα (ν_0) που συνδέεται γραμμικά με την ένταση του εξωτερικού στατικού μαγνητικού πεδίου (H_0) μέσω της απλής σχέσης ($\nu_0 = (\gamma/2\pi)H_0$). Ο συντελεστής (γ) ονομάζεται γυρομαγνητικός λόγος και είναι *χαρακτηριστικός για κάθε πυρήνα*. Η τελική κλίμακα των φυσικών συχνοτήτων μετάπτωσης των πυρήνων της ύλης βρίσκεται στην περιοχή των ραδιοκυμάτων του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

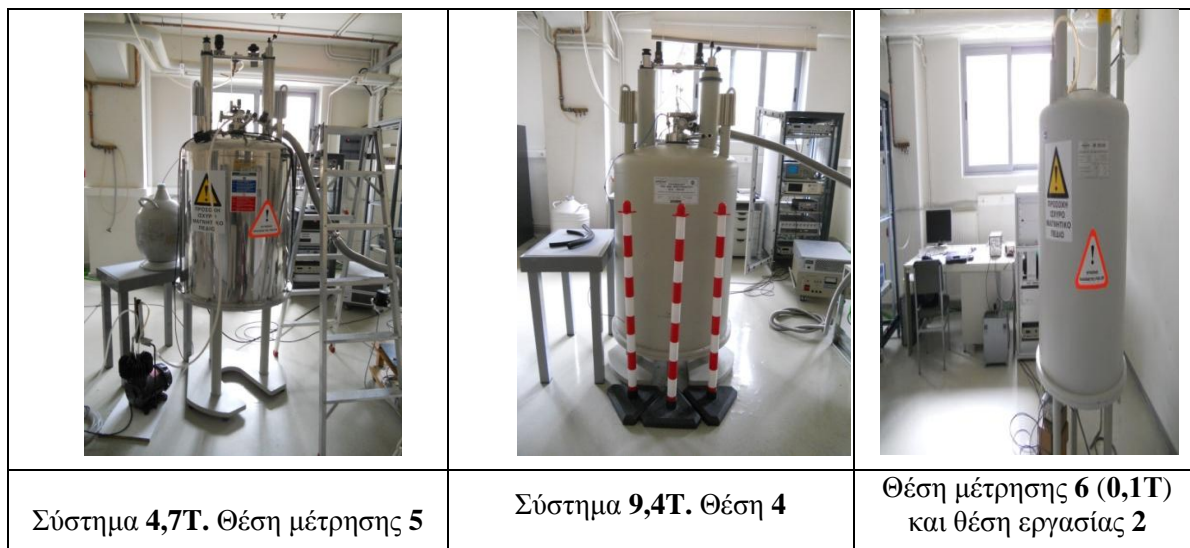
Με βάση το παραπάνω αποτέλεσμα είναι δυνατόν να προκαλέσουμε ηλεκτρομαγνητικά διεγέρσεις στο σύστημα των πυρήνων που βρίσκονται μέσα σε ένα ισχυρό και ομογενές στατικό μαγνητικό πεδίο, αν επιδράσουμε σε αυτούς με χρήση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με φυσικές συχνότητες ίδιες με τις συχνότητες μετάπτωσής τους με χρήση του φυσικού φαινομένου του συντονισμού. Στην βάση αυτή το φαινόμενο ονομάστηκε Πυρηνικός Μαγνητικός Συντονισμός (ΠΜΣ).

Το τελικό αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ραδιοσυχνοτήτων (RF) με το σύστημα των πυρήνων μέσα σε μαγνητικό πεδίο είναι η νεύση (κλονισμός) του άξονα μετάπτωσης του ανύσματος της συνολικής πυρηνικής μαγνήτισης σε μια γωνία νεύσης που εξαρτάται φυσικά από τα χαρακτηριστικά της ακτινοβολίας ραδιοσυχνοτήτων (RF). Στα σύγχρονα συστήματα η εκπομπή της ακτινοβολίας RF γίνεται παλμικά με χρόνους επανάληψης (TR) που κυμαίνονται από 1μs μέχρι 100 sec. Το σύστημα δηλαδή αρχικά διεγείρεται ηλεκτρομαγνητικά στην έναρξη του ενός παλμού RF και στην συνέχεια αποδιεγείρεται ηλεκτρομαγνητικά μέχρι την έναρξη του επόμενου παλμού RF.

Κατά την ηλεκτρομαγνητική αποδιέγερση του συστήματος των πυρήνων εκπέμπεται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ίδιας φυσικής συχνότητας με εκείνη της διεγερσής τους (συντονισμός). Αυτή η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από το σύστημα των πυρήνων κατά την αποδιέγερσή τους επάγει μέσω του νόμου του Faraday χρονική μεταβολή της μαγνητικής ροής, άρα και ηλεκτρεγερτική δύναμη (τάση), στα άκρα ενός κατάλληλα τοποθετημένου πηνίου. Αυτές οι μεταβολές της τάσης αποτελούν τελικά τα σήματα των πυρήνων που καταγράφονται σαν φασματικές κατανομές στα καταγραφικά συστήματα (υπολογιστές, παλμογράφοι κτλ). Οι καταγραφές γίνονται με χρήση μεθόδων ανάλυσης Fourier και αποτυπώνεται άμεσα η συχνότητα εκπομπής των πυρήνων στην μορφή κλασσικής Λωρεντζιανής κατανομής (φασματική γραμμή). Στην περίπτωση που οι πυρήνες βρίσκονται σε διαφορετικά χημικά περιβάλλοντα οι φασματικές κατανομές αλλάζουν ριζικά. Με σωστή ανάλυση των φασματικών αυτών κατανομών μπορεί πρακτικά να γίνει ταυτοποίηση του χημικού περιβάλλοντος από το οποίο εκπέμπουν οι εν λόγω πυρήνες.

Η ηλεκτρομαγνητική αποδιέγερση των πυρήνων δεν γίνεται αυτόματα. Η διαδικασία ηλεκτρομαγνητικής αποδιέγερσης οδηγεί το διεγερμένο σύστημα των πυρήνων στην μαγνητική αποκατάστασή του. Διακρίνονται δύο κύριοι μηχανισμοί μαγνητικής αποκατάστασης. Ο πρώτος αναφέρεται σαν μοριακός μαγνητικός συντονισμός και χαρακτηρίζεται από μια χρονική σταθερά που ονομάζεται T1. Ο δεύτερος μπορεί να αναφερθεί σαν μοριακός μαγνητικός περιορισμός και χαρακτηρίζεται από μια χρονική σταθερά που ονομάζεται T2. Ο μηχανισμός T1 εμπεριέχεται πάντοτε στον μηχανισμό T2. Για το λόγο αυτό οι χρόνοι T2 είναι πάντα μικρότεροι ή το πολύ ίσοι με τους χρόνους T1. Οι χρόνοι T1 και T2 είναι χαρακτηριστικοί για κάθε πυρήνα και εξαρτώνται άμεσα από το μαγνητικό, το φυσικό και το χημικό περιβάλλον που βρίσκονται οι εν λόγω πυρήνες.

Έχοντας σαν στοιχεία: (α) την φυσική συχνότητα συντονισμού του κάθε πυρήνα, (β) την μεταβολή της συχνότητας συντονισμού του πυρήνα ανάλογα με το χημικό του περιβάλλον και (γ) τους χρόνους μαγνητικής αποκατάστασης T1 και T2 του συγκεκριμένου πυρήνα, ξεκίνησε, από την δεκαετία του 50 και συνεχίζει να αναπτύσσεται μέχρι σήμερα μια αναλυτική μέθοδος ταυτοποίησης των πυρήνων στο φυσικό, χημικό και μαγνητικό τους περιβάλλον, η μέθοδος του Πυρηνικού Μαγνητικού Συντονισμού.



Εικόνα 1: Τα τρία ενεργά σύστημα NMR του εργαστηρίου. Διακρίνεται η σήμανση ασφαλείας.

2.2 Βασικές αρχές ΥΑΕ

Η νομοθεσία για την ΥΑΕ είναι εκτεταμένη και σε κάποια σημεία ιδιαίτερα εξειδικευμένη (*Νομοθεσία ΥΑΕ*). Το 2010 έγινε μια σημαντική κωδικοποίηση μεγάλου μέρους της με το νόμο 3850/2010. Η πρώτη βασική αρχή είναι η αρχή της ευθύνης του εργοδότη (κάθε φυσικό ή νομικό πρόσωπο, το οποίο συνδέεται με σχέση εργασίας με τον εργαζόμενο και έχει την ευθύνη για την επιχείρηση ή/και την εγκατάσταση), ο οποίος δεν απαλλάσσεται των ευθυνών του ακόμα και αν έχει ειδικούς συνεργάτες σε θέματα ΥΑΕ. Σύμφωνα με αυτή την αρχή: Ο εργοδότης υποχρεούται να εξασφαλίζει την υγεία και την ασφάλεια των εργαζομένων ως προς όλες τις πτυχές της εργασίας και να λαμβάνει μέτρα που να εξασφαλίζουν την υγεία.

Μια άλλη βασική αρχή είναι η κλιμάκωση των διορθωτικών ενεργειών ξεκινώντας από τεχνικά και οργανωτικά μέτρα και καταλήγοντας ως έσχατο μέτρο σε μέτρα ατομικής προστασίας. Σημαντικό ζήτημα είναι η ενημέρωση, διαβούλευση, κατάρτιση και εκπαίδευση των εργαζομένων.

Ενδεικτικά αναφέρονται οι βασικές αρχές πρόληψης: **αποφυγή** των κινδύνων, **εκτίμηση** των κινδύνων που δεν μπορούν να αποφευχθούν, **προσαρμογή** της εργασίας στον άνθρωπο, αντικατάσταση του επικινδύνου από το μη επικίνδυνο ή το λιγότερο επικίνδυνο, καταπολέμηση των κινδύνων στην **πηγή** τους, προτεραιότητα στη λήψη μέτρων **ομαδικής** προστασίας σε σχέση με τα ατομικά, προσαρμογή στις **τεχνικές εξελίξεις**, παροχή των **κατάλληλων οδηγιών** στους εργαζομένους.

Σημαντικό εργαλείο ασφάλειας είναι η κατάλληλη **σήμανση** του χώρου εργασίας.

Στα πλαίσια των εξειδικευμένων νομοθετημάτων για την ΥΑΕ ξεκίνησαν ήδη από το 1989 με την οδηγία πλαίσιο 89/391/ΕΕΚ ειδικές οδηγίες για φυσικούς παράγοντες. Έχουν ήδη ολοκληρωθεί τα π.δ. για θόρυβο, δονήσεις και τεχνητή οπτική ακτινοβολία, ενώ η οδηγία 2013/35/ΕΕ για τα Η/Μ πεδία είναι η τελευταία αυτής της σειράς.

2.3. Η/Μ πεδία

Οι προσπάθειες για τον καθορισμό του νομοθετικού πλαισίου της προστασίας των εργαζομένων από την έκθεσή τους σε Η/Μ πεδία μετρά ήδη πολλά χρόνια (*Γ. Γουρζουλίδης 2012-13*). Ενώ η αντίστοιχη προσπάθεια για την προστασία του γενικού πληθυσμού ολοκληρώθηκε επιτυχώς στις αρχές του 2000, ακολουθώντας τις κατευθυντήριες οδηγίες της ICNIRP, το 2004 εκδόθηκε για τους εργαζόμενους η Ευρωπαϊκή οδηγία 2004/40/ΕΕ (0-300GHz). Ζητήματα που ανέκυψαν σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, κυρίως σχετικά με το στατικό μαγνητικό πεδίο του μαγνητικού τομογράφου, καθώς και πληθώρα νέων επιστημονικών δεδομένων (αναθεώρηση των ορίων της ICNIRP για 0-100kHz), είχαν ως αποτέλεσμα η οδηγία 2004/40/ΕΕ να μην εφαρμοστεί. (*ICNIRP 1998-2009*). Μετά από εντατικές προσπάθειες δημιουργήθηκε στις 26.6.2013 η νέα οδηγία 2013/35/ΕΥ, η οποία και θα ενσωματωθεί στην εθνική μας νομοθεσία μέχρι την 1 Ιουλίου 2016. Είναι σημαντικό ότι η οδηγία δίνει τη δυνατότητα εξαίρεσης, μεταξύ άλλων, των βασικών οριακών τιμών για τους χώρους του MRI.

DIRECTIVES

DIRECTIVE 2013/35/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL

of 26 June 2013

on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields) (20th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC) and repealing Directive 2004/40/EC

Εικόνα 2: Η νέα οδηγία για τα Η/Μ πεδία

Οι επιστημονικές έρευνες στο χώρο των Η/Μ συνεχίζονται και δεν αποκλείονται αλλαγές στο μέλλον (*SCENIHR 2009, 2014*). Οι τρέχουσες όμως μελέτες δεν αναδεικνύουν την ανάγκη κινητοποίησης περιορισμών και ελέγχων πέρα αυτών που ήδη προβλέπονται στο υπάρχον νομικό πλαίσιο.

Αν και για τις διάφορες συχνότητες των Η/Μ πεδίων υπάρχει ένα σύνθετο σύστημα διαχείρισης, μετρούμενων και μη «ορίων» (basic restrictions, action levels, με επιπλέον εξειδίκευση), για το στατικό μαγνητικό πεδίο τα όρια συγκεντρώνονται στους δύο πίνακες που ακολουθούν. Ο πίνακας 1 αφορά στις άμεσες επιπτώσεις του στατικού μαγνητικού πεδίου (ηλεκτροδιέγερση του κεντρικού: sensory effects, και του περιφερικού συστήματος: health effects) και ο πίνακας 2 στις έμμεσες επιπτώσεις (βηματοδότες, κίνδυνος εκσφενδόνισης). Οι πρώτες αφορούν τιμές της τάξης των **2 και 8T**, ενώ οι δεύτερες **0,5 και 3mT** (*Οδηγία 2013/35/ΕΥ*). Οι πίνακες αυτοί αποτελούν τη βάση σύγκρισης των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στο χώρο του εργαστηρίου. Είναι σημαντικό ότι για τα όρια του πίνακα 2 δεν θα υπάρξει εξαίρεση του MRI.

Πίνακας 1: Βασικά όρια για το στατικό μαγνητικό πεδίο (άμεσες επιπτώσεις)

Table A1

ELVs for external magnetic flux density (B_0) from 0 to 1 Hz

	Sensory effects ELVs
Normal working conditions	2 T
Localised limbs exposure	8 T
	Health effects ELVs
Controlled working conditions	8 T

Πίνακας 2: Επιπλέον όρια για το στατικό μαγνητικό πεδίο (έμμεσες επιπτώσεις)

Table B4

ALs for magnetic flux density of static magnetic fields

Hazards	ALs(B_0)
Interference with active implanted devices, e.g. cardiac pacemakers	0,5 mT
Attraction and projectile risk in the fringe field of high field strength sources (> 100 mT)	3 mT

3. Μετρήσεις

3.1 Αποτελέσματα

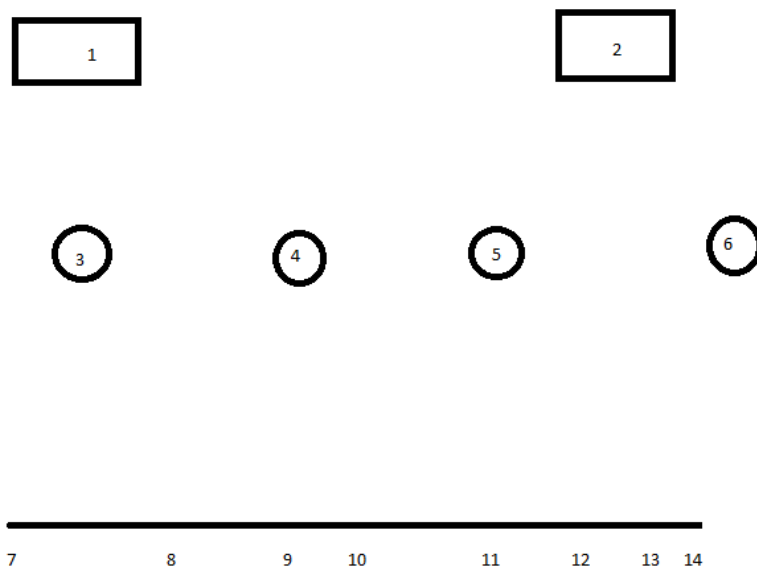
Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με το διακριβωμένο (28.8.2013 metrolab) τριαξονικό μαγνητόμετρο METROLAB ETM-1 του εργαστηρίου του ΚΥΑΕ, σε διάφορες θέσεις του εργαστηρίου. Τα αποτελέσματα δείχνουν τιμές στατικού μαγνητικού πεδίου πολύ κάτω από τις οριακές τιμές για τις άμεσες επιπτώσεις (πίνακας 1), που προβλέπει η νέα οδηγία (**2T** για κανονικές συνθήκες και **8T** για ελεγχόμενες συνθήκες και έκθεση άκρων), ακόμα και για σημεία σε επαφή με τις διατάξεις NMR (μερικές δεκάδες mT). Η μείωση του πεδίου με την απόσταση είναι μεγάλη και στις συνήθεις θέσεις εργασίας του εργαστηρίου φτάνει τις μερικές δεκάδες μT.



Εικόνα 3: Το εργαστήριο του Τομέα Υλικών του ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος

Γ. Παπαβασιλείου, Θ. Μαρής, Γ. Γουρζουλίδης, Κ. Κουτσογιάννης, Α. Χριστοδούλου
 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ ΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ ΤΟΥ ΠΥΡΗΝΙΚΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ
 ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ (NMR)

Μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στις θέσεις που περιγράφονται στο παρακάτω σχέδιο του χώρου του εργαστηρίου . 1,2: Μόνιμες θέσεις εργασίας – 4,5,6: Ενεργά συστήματα NMR – 3: Κλειστό σύστημα NMR – 7-14: Θέσεις μέτρησης επί του διαχωριστικού.



Σχήμα 1: Σκαρίφημα κάτοψης του χώρου και θέσεις μετρήσεων

Οι μετρήσεις φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 3. Με έντονη γραφή παρουσιάζονται οι τιμές για τις οποίες υπάρχει υπέρβαση του ορίου για τους βηματοδότες και με πλάγια γραφή οι τιμές που παρουσιάζουν υπέρβαση για τον κίνδυνο εκσφενδόνισης υλικών.

Πίνακας 3: Μετρήσεις στατικού μαγνητικού πεδίου (Τιμές σε mT. Σφάλματα $\pm 0,1$ και $0,2\text{mT}$ όπως επεξηγούνται στο 3.2)

Θέση μέτρησης	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Επάνω	0,07	0,05	OFF	10	12	0,2	0,1	1,1	1,9	0,7	0,9	0,5	0,1	0,07
Σε επαφή				55	50									
Σε 1m				6										
Σε 0,5 m					6									

3.2 Σφάλματα

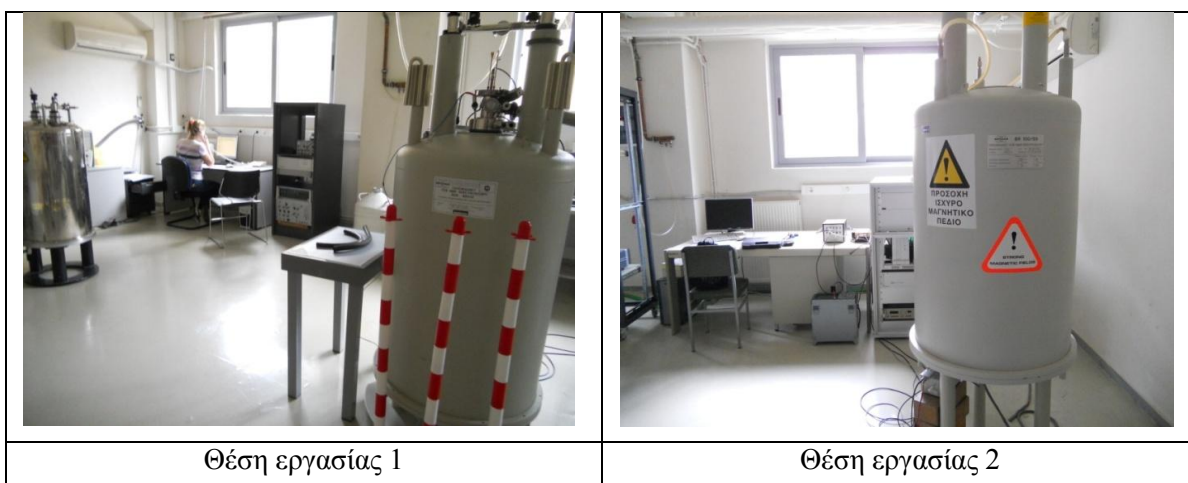
Όπως προκύπτει από το φυλλάδιο διακρίβωσης του οργάνου για το εύρος τιμών από 0 έως 200mT το σφάλμα είναι από 0,03 μέχρι 0,2 mT. Δεχόμαστε ως σφάλμα το $\pm 0,1\text{mT}$ για τιμές μέχρι 20mT και $\pm 0,2$ mT για τις μεγαλύτερες (*Calibration report Metrolab*). Επομένως οι τιμές των θέσεων 1,2 και 14 στρογγυλοποιούνται στα 0,1mT.

4. Συμπεράσματα – Προτάσεις

Οι μετρούμενες τιμές είναι σημαντικά μικρότερες αυτών που προβλέπονται στον πίνακα 1 (άμεσες επιπτώσεις). Ορισμένες από αυτές παρουσιάζουν υπέρβαση για τις έμμεσες επιπτώσεις (πίνακας 2). Πρόβλεψη συνεπώς πρέπει να υπάρξει για την χρήση βηματοδοτών (όριο **0,5mT**) αλλά και για τον κίνδυνο εκτόξευσης σιδηρομαγνητικών υλικών (όριο **3mT**) στις περιοχές που παρατηρείται υπέρβαση. Προτείνεται η οριοθέτηση των αντίστοιχων περιοχών με **διαγράμμιση επί του εδάφους** (πρακτική που εφαρμόζεται επιτυχώς στο MRI) και η χρήση **ειδικής προειδοποιητικής σήμανσης για βηματοδότες**.

Οι μόνιμες θέσεις εργασίας 1 και 2 παρουσιάζουν πολύ μικρές τιμές στατικού μαγνητικού πεδίου χωρίς καμία υπέρβαση. Η πρόσβαση σε αυτές όμως περνά από τις «ελεγχόμενες» περιοχές που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Οι πρακτικές διαχείρισης των κινδύνων στο χώρο του NMR παρουσιάζουν μεγάλες ομοιότητες με αυτές του χώρου του MRI. Οι συγκεκριμένοι χώροι εμφανίζουν μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον τόσο για το έντονο στατικό μαγνητικό πεδίο, την συνύπαρξη πολλών άλλων συχνοτήτων, αλλά και την προσέγγιση της διαχείρισης των κινδύνων (SCENIHR 2013, Kanal et al, 2007, 2013). Στην αναφορά της SCENIHR προτείνεται να ενταθούν οι μελέτες σε χώρους έντονου στατικού μαγνητικού πεδίου. Από την παρούσα μελέτη φαίνεται ότι ως τέτοιος δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ο χώρος του NMR.



Εικόνα 4: Οι μόνιμες θέσεις εργασίας (διακρίνεται η προειδοποιητική σήμανση)

5. Βιβλιογραφία

Πρακτικά συνεδρίων:

Γ. Γουρζουλίδης, Κίνδυνοι από ακουστικό θόρυβο και Η/Μ πεδία στους χώρους του MRI. Αρχές και προτάσεις αντιμετώπισης, 5^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Βιοϊατρικής Τεχνολογίας, 2013

Γ. Γουρζουλίδης, Η Δημιουργία της Νέας Ευρωπαϊκής Οδηγίας για την έκθεση των εργαζομένων σε Η/Μ πεδία και ο ρόλος του Μαγνητικού Τομογράφου, 4^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Βιοϊατρικής Τεχνολογίας, 2012

Γ. Παπαβασιλείου, Θ. Μαρής, Γ. Γουρζουλίδης, Κ. Κουτσογιάννης, Α. Χριστοδούλου
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ ΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ ΤΟΥ ΠΥΡΗΝΙΚΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ
ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ (NMR)

Νομοθεσία:

Οδηγία 2004/40ΕΚ περί των ελάχιστων προδιαγραφών υγείας και ασφάλειας όσον αφορά στην έκθεση των εργαζομένων σε κινδύνους προερχόμενους από φυσικούς παράγοντες (ηλεκτρομαγνητικά πεδία) (18η ειδική οδηγία κατά την έννοια του άρθρου 16 παράγραφος 1 της οδηγίας 89/391/ΕΟΚ)

Οδηγία 2013/35/EU

Νομοθεσία ΥΑΕ (www.ypakr.gr – Νομοθεσία – ΥΑΕ – Εθνικό και Κοινοτικό Δίκαιο με χρονολογική και θεματική κατάταξη)

Άρθρα, βιβλία:

Bloch F., Hansen W.W. and Packard M., “Nuclear induction”, Phys.Rev., 69, 127 (1946)

BMAS, Electromagnetic fields at workplaces, a new scientific approach to occupational health and safety, 2009

ICNIRP, GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO TIME-VARYING ELECTRIC, MAGNETIC, AND ELECTROMAGNETIC FIELDS (UP TO 300 GHz), 1998

ICNIRP, GUIDELINES ON LIMITS OF EXPOSURE TO STATIC MAGNETIC FIELDS, 2009

ICNIRP, GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO ELECTRIC FIELDS INDUCED BY MOVEMENT OF THE HUMAN BODY IN A STATIC MAGNETIC FIELD AND BY TIME-VARYING MAGNETIC FIELDS BELOW 1 HZ, 2014

Jolanta Karpowicz, Technical aspects related to the harmonization of the provisions of EU work environment Directive with international safety guidelines, Central Institute for Labour Protection – National Research Institute (CIOP-PIB), Warszawa, Poland, 2011

Kanal et al, ACR Guidance Document on MR Safe Practices: 2013, JOURNAL OF MAGNETIC RESONANCE IMAGING 37:501–530 (2013)

Kanal et al, ACR Guidance Document for Safe MR Practices: 2007, AJR:188, June 2007

Purcell E. M., Torrey H. C. and Pound R.V., “Resonance absorption by nuclear magnetic moments in a solid”, Phys.Rev., 69, 37 (1946)

SCENIHR opinions (October 2004, April 2009, preliminary 2013), European Commission

Τεχνικό δελτίο:

Calibration report Metrolab, No 2013O0059, August 2013