

Οι μη ιοντίζουσες ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες (NIR) στον εργασιακό χώρο

*του Μιλτιάδη Γ. Δεληχά

Με τον όρο ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία εννοούμε τη διάδοση ηλεκτρομαγνητικών (H/M) κυμάτων τα οποία παράγονται από κινούμενα ηλεκτρικά φορτία. Η ενέργεια E της H/M ακτινοβολίας είναι ανάλογη της συχνότητας f σύμφωνα με τη σχέση $E = hf$ (h : σταθερά του Planck).

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι ένας γενικός όρος και περιλαμβάνει H/M κύματα διαφόρων συχνοτήτων. Μια πρώτη υποδιαίρεση του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος μπορεί να γίνει με βάση την ικανότητα ή όχι της ακτινοβολίας να προκαλέσει ιοντισμό ενός ατόμου, δηλαδή απόσπαση ηλεκτρονίων από αυτό (Πίνακας 1). Οι ακτινοβολίες που έχουν την ικανότητα ιοντισμού είναι οι ιοντίζουσες (Ionizing Radiation). Αυτές που δεν έχουν την ενεργειακή ικανότητα ιοντισμού της ύλης, είναι οι μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες (Non Ionizing Radiation - NIR).

Πίνακας 1 : Το φάσμα της H/M ακτινοβολίας

Μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες (NIR)



DC γραμμές μεταφοράς	Ραδιοκύματα (RF)	Μικροκύματα (RF)	Υπερυβρη ακτινοβολία (IR)	Ορατό φάσμα (V)
----------------------	------------------	------------------	---------------------------	-----------------

Ιοντίζουσες ακτινοβολίες



Υπεριώδης ακτινοβολία (UV)	Ακτίνες X	Ακτίνες γ
----------------------------	-----------	-----------

Οι NIR καλύπτουν το τμήμα του φάσματος H/M ακτινοβολίας μέχρι τη συχνότητα 300 GHz και δημιουργούνται από τα δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας υπό υψηλή τάση, τους βιομηχανικούς φούρνους, τις εγκατα-

στάσεις διαβίβασης ραδιοφωνικών, τηλεφωνικών και τηλεοπτικών συσκευών, τις εγκαταστάσεις ελέγχου αεροπορικών συγκοινωνιών, δορυφορικών επικοινωνιών, ραντάρ, τις οικιακές συσκευές μικροκυμάτων, τα διάφορα θερμαντικά σώματα, τις συσκευές διαθερμιών, τους λαμπτήρες πυρακτώσεως υψηλής έντασης, τους λαμπτήρες φθορίου, τόξων άνθρακα, ατμών υδραργύρου, νημάτων βολφραμίου, τα τόξα συγκόλλησης μετάλλων, τις ηλεκτρικές συσκευές κ.α. Στον Πίνακα 2, αναλύονται οι επιμέρους περιοχές συχνοτήτων των NIR και οι πηγές εκπομπής τους.

Πίνακας 2 : Περιοχές συχνοτήτων και πηγές εκπομπής NIR

Περιοχή συχνοτήτων πάρα πολύ χαμηλές	Συχνότητα	Πηγές Εκπομπής
ακουστικές (VF)	0 - 300 Hz	γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας, ακουστικές συχνότητες, υποβρύχιες επικοινωνίες
πολύ χαμηλές (VLF)	0,3 - 3 kHz	φωνή, ακουστικές συχνότητες
μεσαίες (MF)	3 - 300 kHz	ραδιοεπικοινωνία ναυσιπλοΐας, επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων
υψηλές (HF)	0,3 - 3 MHz	ραδιοεπικοινωνίες ναυσιπλοΐας, ερασιτέχνες ραδιοσταθμοί
πολύ υψηλές (VHF)	3 - 30 MHz	διεθνείς επικοινωνίες, έλεγχος αεροπλοΐας
πάρα πολύ υψηλές (UHF)	30 - 300 MHz	αστυνομία, σταθμοί FM, VHF-TV, έλεγχος αεροπλοΐας και ναυσιπλοΐας
εξαιρετικά υψηλές (EHF)	0,3 - 3 GHz	κινητή και ασύρματη τηλεφωνία, αστυνομία, ραδιοταξί, UHF-TV, φούρνοι μικροκυμάτων, ιατρικές διαθερμίες, βιομηχανικά μικροκύματα
υπερυβρη ακτινοβολία (IR)	3 - 300 GHz	ραντάρ, δορυφορικές επικοινωνίες, ραδιοεπικοινωνίες, ραδιο-φασματομετρία
	0,3 - 300 THz	εποπτεία, ηλεκτρονικός πόλεμος, βιομηχανική θέρμανση

Το μέγεθος που χρησιμοποιείται στην πράξη για τη δοσιμετρία των NIR είναι η **πυκνότητα ισχύος S** του H/M κύματος, δηλαδή η ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας, εκφρασμένη σε mW/cm². Ορίζεται ως το γινόμενο των εντάσεων του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου $S = (E \cdot H)$

*Ο Μ. Γ. Δεληχάς είναι Ακτινοφυσικός MSc,
Δρ Ιατρικής Σχολής του Α.Π.Θ., Τεχνικός Επιθεωρητής Εργασίας

Οι επιδράσεις των NIR

Οι επιδράσεις των NIR, παρουσιάζονται με φαινόμενα λειτουργικής αλληλεπίδρασης μεταξύ ηλεκτρονικών διατάξεων (πρόκληση Η/Μ παρεμβολών σε άλλες διατάξεις ή σε δικές τους λειτουργίες) και φτάνουν ως την επικινδυνότητα (κυρίως λόγω ηλεκτροπληξίας ή εγκαύματος), στην ακραία περίπτωση που θα παρενοχληθούν διατάξεις από τις οποίες εξαρτάται η υγεία των εργαζομένων ή του γενικού πληθυσμού. Ως παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί η επαφή ενός ατόμου με κάποιο αντικείμενο που βρέθηκε υπό ηλεκτρική τάση λόγω Η/Μ πεδίων, γεγονός που μπορεί να συμβεί όταν π.χ. δυο πλοία πλέουν πολύ κοντά μεταξύ τους έχοντας πολύ ισχυρούς πομπούς σε λειτουργία. Τότε είναι δυνατή, εφόσον υπάρξει συνδυασμός παραγόντων (όπως κατάλληλη συχνότητα εκπεμπόμενης ακτινοβολίας και προσανατολισμός του εξαρτισμού), η ανάπτυξη τέτοιων τάσεων στον εναέριο μεταλλικό εξαρτισμό του πλοίου (π.χ. συρματοσχοινά), που η επαφή του ατόμου με αυτόν, να προκαλέσει εγκαύματα ή και ηλεκτροπληξία. Το όριο ασφάλειας για το διερχόμενο ρεύμα, αυξάνεται αυξανόμενης της συχνότητας και από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του ατόμου (φύλο, ηλικία κ.α.). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για τα 50/60 Hz, το όριο του σοκ είναι περί τα 10 mA, ενώ για τα 100 kHz, περί τα 150 mA. Τέτοια φαινόμενα εμφανίζονται μέχρι τα 110 MHz.

Είναι χαρακτηριστικό ότι οι διάφοροι ιστοί που αποτελούν το ανθρώπινο σώμα, παρουσιάζουν επιλεκτική απορρόφηση της Η/Μ ακτινοβολίας ως προς τη συχνότητά της. **Η μέγιστη απορρόφηση** παρατηρείται για τη ζώνη συχνοτήτων από **30 έως 300 MHz**, δηλαδή δυστυχώς για συχνότητες που χρησιμοποιούνται ευρύτατα από τις τηλεπικοινωνίες των μέσων μαζικής ενημέρωσης (ραδιοφωνία και τηλεόραση).

Η διερεύνηση των βλαπτικών επιπτώσεων των NIR ξεκίνησε μετά το 1950 όταν υπήρξε ευρεία εφαρμογή των radars. Οι βλαπτικές επιδράσεις που μπορεί να έχουν οι NIR, διακρίνονται **σε θερμικές** (προκαλούν αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος) και **σε μη θερμικές** (παραλαμβάνουν όλες τις περιπτώσεις στις οποίες δεν παρατηρείται σημαντική αύξηση θερμοκρασίας, $>0.1^{\circ}\text{C}$). Μεγαλύτερης βαρύτητας είναι οι θερμικές, η επίδραση των οποίων είναι εντονότερη στους υδαρείς ιστούς (δέρμα, μύες, εσωτερικά όργανα). Οι μη θερμικές επιδράσεις οφείλονται σε χαμηλές συχνότητες πεδίων ($< 10\text{ MHz}$) είναι έμμεσες, και εξετάζεται το κατά πόσο συνιστούν σε στατιστικά-κληρονομικά αποτελέσματα.

NIR και εργασιακό περιβάλλον

Παράγοντες που διαφοροποιούν ορισμένους εργασιακούς χώρους είναι αφενός μεν η μεγάλη συγκέντρωση ηλεκτρικών/ηλεκτρονικών συσκευών σε περιορισμένο χώρο, αφετέρου δε ο μεγάλος χρόνος παραμονής του προσωπικού σε ένα τέτοιο περιβάλλον. Ειδικά ο δεύτερος αυτός παράγοντας σημαίνει ότι απαιτείται ένας αυξημένος προβληματισμός για το εάν το εμπλεκόμενο προσωπικό θα χαρακτηριστεί απλά ως «εργαζόμενοι», ή ως μια κατηγορία «γενικού πληθυσμού». Με βάση τον τύπο των

συσκευών-εκπομπών NIR, διακρίνονται τέσσερις μεγάλες κατηγορίες εργαζομένων που δύνανται να εκτεθούν :

1. Εργαζόμενοι σε συστήματα 50/60 Hz: Αφορούν κυρίως τις μονάδες/συστήματα παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ισχύος. Τα συστήματα αυτά γενικά δεν εμπνέουν ανησυχία διότι οι χρησιμοποιούμενες τάσεις είναι σχετικά χαμηλές (440 V παραγωγή, 115 ή 220 V διανομή), γεγονός το οποίο σημαίνει πολύ μικρές τιμές έντασης ηλεκτρικού και επαγόμενου μαγνητικού πεδίου.

2. Εργαζόμενοι σε τηλεπικοινωνιακά συστήματα: Αφορούν συστήματα που λειτουργούν σε μια ευρεία περιοχή των ραδιοκυμάτων (MF, HF, VHF, UHF). Στην περίπτωση αυτή οι συσκευές ενδιαφέροντος είναι βασικά οι χρησιμοποιούμενοι πομποί, οι οποίοι έχουν ισχύ από μερικά Watt έως μερικά kiloWatt. Συνήθως βρίσκονται κατά ομάδες σε συγκεκριμένα διαμερίσματα του εργασιακού χώρου, όπου συχνά υπάρχει πρόσβαση μόνον από εξουσιοδοτημένο και εξειδικευμένο προσωπικό.

3. Εργαζόμενοι σε συστήματα ραντάρ: Αφορούν σε μεγάλη ποικιλία συσκευών και χαρακτηριστικών λειτουργίας. Μπορεί να είναι παλμικά με περιστρεφόμενες κεραίες (κάλυψη 360ο) ή συνεχούς ακτινοβολίας (CW) με κατευθυντήριες δέσμες. Το εύρος συχνοτήτων περιορίζεται στις ζώνες UHF και SHF και ισχύς εκπομπής είναι της τάξης των kW.

4. Εργαζόμενοι που δέχονται υπέρυθρη ακτινοβολία: Αρτοποιοί, μάγειρες, χημικοί, πυροσβέστες, εργαζόμενοι σε βιομηχανίες όπου λειτουργούν φούρνοι υψηλής συχνότητας, επεξεργαστές χάλυβα και συγκολλητές μετάλλων.

Η λειτουργία των συσκευών-εκπομπών NIR είναι ασφαλής όταν οι κατασκευαστές λαμβάνουν μέτρα θωράκισης, ώστε η Η/Μ ακτινοβολία που δημιουργούν οι συσκευές να περιορίζεται στο εσωτερικό τους και, όταν δεν υπάρχει κάποια αστοχία υλικού (π.χ. οπή ή χαλαρή σύνδεση σε κυματοδηγό) ή δυσλειτουργία κάποιας συσκευής (παραγωγή αρμονικών ασυνήθιστα υψηλής έντασης).

Οι εργαζόμενοι πρέπει να εφαρμόζουν το **τρίπτυχο της Ακτινοπροστασίας** το οποίο περιλαμβάνει :

1. μεγιστοποίηση της απόστασης από την πηγή ακτινοβολίας,

2. ελαχιστοποίηση του χρόνου έκθεσης σε αυτή, και,

3. χρήση ικανού πάχους θωράκισης.

Όσον αφορά στην παραμονή του προσωπικού σε περιβάλλον NIR, πρέπει να εφαρμόζονται τα παρακάτω :

• Για τη λειτουργία συγκεκριμένων συσκευών, απαγορεύεται η παραμονή σε συγκεκριμένες περιοχές του εξωτερικού χώρου που έχουν οριοθετηθεί επακριβώς από τον κατασκευαστή (ανυψωμένα επίπεδα σε ορισμένες αποστάσεις κλπ).

• Σε περιοχές όπου το προσωπικό πρέπει να βρίσκεται συχνά και οι περιοχές αυτές είναι κοντά σε κεραίες, τοποθετούνται μεταλλικά δικτυωτά πλέγματα προστασίας (screens). Τα πλέγματα αυτά, εφόσον είναι καταλλήλων

διαστάσεων (σε σχέση με το μήκος κύματος της Η/Μ ακτινοβολίας), δημιουργούν ασφαλείς περιοχές παραμονής.

- Η χρήση ατομικών μέτρων προστασίας από τους εργαζόμενους (π.χ. χρήση ελαφρού ρουχισμού από αλουμίνιο για την προστασία από την υπέρυθη ακτινοβολία).

- Πρέπει να αποφεύγεται η άσκοπη παραμονή του προσωπικού σε εξωτερικούς χώρους - πεδία.

Ακτινοπροστασία - Όρια έκθεσης σε NIR

Για την έκθεση σε NIR όπως συμβαίνει και με τις ιοντίζουσες ακτινοβολίες, ισχύουν οι τρεις αρχές της Ακτινοπροστασίας :

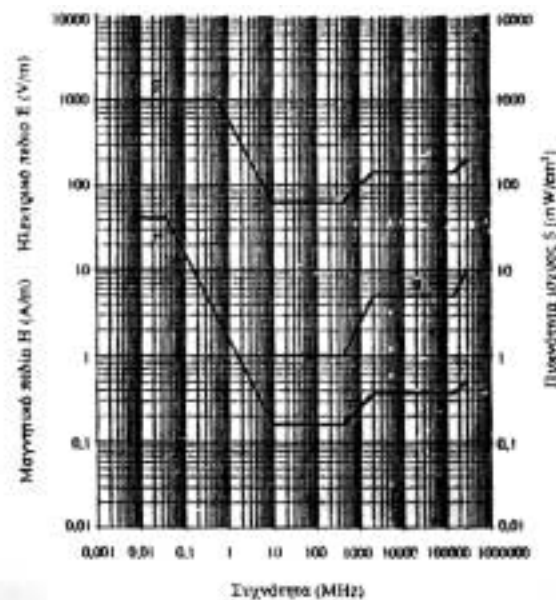
1. Η αρχή της *αιτιολόγησης* επιβάλλει την απόδειξη ότι το όφελος από τη χρήση της πηγής Η/Μ κυμάτων είναι μεγαλύτερο από τον κίνδυνο που συνεπάγεται η ακτινοβολία της. Δηλαδή οι εφαρμογές των Η/Μ κυμάτων στον εργασιακό ή μη περιβάλλοντα χώρο να περιορίζονται όπου αυτό επιβάλλεται ή όπου κρίνεται αναγκαίο.

2. Η αρχή της *βελτιστοποίησης* (ALARA - As Low As Reasonably Achievable), επιβάλλει τον περιορισμό της ισχύος ή άλλων χαρακτηριστικών της ακτινοβολίας, έτσι ώστε ο επιδιωκόμενος σκοπός να επιτυγχάνεται, με την ελάχιστη δυνατή επιβάρυνση του περιβάλλοντος η έκθεση της υγείας σε κίνδυνο.

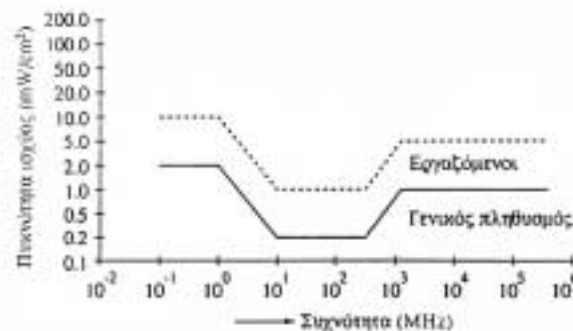
3. Η αρχή της *οριοθέτησης* επιβάλλει τη θέσπιση αποδεκτών ορίων μεγίστης επιτρεπτής έκθεσης.

Μέχρι σήμερα δεν υπάρχει ακόμα πλήρης συμφωνία για τα επιτρεπόμενα όρια μεταξύ των εμπλεκόμενων οργανισμών και φορέων. Τα όρια επικινδυνότητας της NIR που έχουν καθιερωθεί μέχρι τώρα διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με τον επιστημονικό οργανισμό που τα καθιέρωσε και το κράτος που τα αποδέχεται. Η βασικότερη αιτία είναι η διαφορετική εκτίμηση ως προς τους προεξάρχοντες μηχανισμούς αλληλεπίδρασης της NIR με τους ιστούς. Όταν εκτιμώνται κυρίως τα θερμικά αποτελέσματα από την αλληλεπίδραση αυτή, τα όρια επικινδυνότητας είναι αρκετά υψηλά. Αντίθετα όταν συνεκτιμώνται και τα μη θερμικά αποτελέσματα, τα όρια επικινδυνότητας είναι σημαντικά χαμηλότερα. Από το 1950, η έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία πυκνότητας ισχύος 100 mW/cm² θεωρούνταν καταστροφική για τους βιολογικούς οργανισμούς. Στη συνέχεια κατά καιρούς έχουν προταθεί όρια επικινδυνότητας για την πυκνότητα ισχύος 0,1 mW/cm², 1 mW/cm² και 10 mW/cm² ενώ στην πρώην Σοβιετική Ένωση προτείνεται και όριο 10 μW/cm². Το 1994 προτάθηκαν όρια από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ηλεκτροτεχνικής Τυποποίησης (CELENEC - Comité Europeene de Normalisation Electrotechnique : Σχήμα 1), και ενσωματώθηκαν στην Ελληνική Νομοθεσία με την Κ.Υ.Α. Ααρ. 5357/3839 (ΦΕΚ 1105/Β, 6-9-2000) «Μέτρα προφύλαξης του κοινού από τη λειτουργία κεραιών εγκατεστημένων στην ξηρά» προς συμμόρφωση με την Οδηγία 519/99 Ε.Ε. για τον περιορισμό της έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία (0 Hz – 300 GHz).

Σχήμα 1: Όρια επικινδυνότητας NIR κατά CELENEC



Σχήμα 2: Όρια επικινδυνότητας NIR κατά IRPA.



Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται τα όρια NIR για εργαζόμενους και γενικό πληθυσμό σύμφωνα με τη Διεθνή Επιτροπή Ακτινοπροστασίας (International Radiation Protection Association – IRPA).

Για την εκτίμηση των τιμών ηλεκτρομαγνητικής επιβάρυνσης σε μια περιοχή, λόγω της μεταβολής των επιτρεπόμενων ορίων συναρτήσει της συχνότητας χρησιμοποιούνται κατάλληλοι δείκτες. Ένας τέτοιος δείκτης είναι ο **δείκτης ασφαλείας** (Safety Index - SI), ο οποίος ορίζεται ως ο αριθμός που προκύπτει από την άθροιση των κλασμάτων των πυκνοτήτων ισχύος σε όλες τις συχνότητες εκπομπής Η/Μ ακτινοβολίας, που μετρούνται σε ένα σημείο προς τα αντίστοιχα επιτρεπόμενα όρια. Όσο μικρότερος είναι ο δείκτης ασφαλείας σε σχέση με τη μονάδα, τόσο ασφαλέστερη είναι η περιοχή.

Υπάρχουν αντικρουόμενες απόψεις για το κατά πόσο είναι βλαπτική η χαμηλή έκθεση σε NIR (μη θερμικά αποτελέσματα). Χαρακτηριστική είναι μια πρόσφατη έρευνα σε ομάδα πληθυσμού που πραγματοποιήθηκε στο Coldfield της Μεγάλης Βρετανίας. Παρατηρήθηκε ότι σε ακτίνα 5-10 km από ένα πάρκο πομπών ραδιοφώνου και τηλεόρασης που είναι εγκατεστημένοι εκεί, υπήρξαν