

**Κατευθυντήριες οδηγίες
για έκθεση ιπτάμενων πληρωμάτων
στην κοσμική ακτινοβολία**

Σεπτέμβριος 2020

ΚΑ-ΕΕΑΕ-ΚΟ-092020-01

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Συνομογραφίες:	2
1. Εισαγωγή	3
2. Σκοπός και αντικείμενο.....	5
3. Πρόγραμμα προστασίας και ασφάλειας.....	5
3.1. Ενημέρωση Εργαζομένων	6
3.2. Εκτίμηση δόσεων και ατομική παρακολούθηση	6
3.3. Πρόγραμμα εργασίας – καθηκόντων (roster)	7
4. Βιβλιογραφία.....	7

Συνομογραφίες:

ΕΕΑΕ: Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας

ICRP: International Commission on Radiological Protection

UNSCEAR: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation

1. Εισαγωγή

Η κοσμική ακτινοβολία προέρχεται κυρίως από το διάστημα εκτός του ηλιακού συστήματος, ήτοι γαλαξιακή κοσμική ακτινοβολία, και σε μικρότερο βαθμό από την ηλιακή δραστηριότητα. Επομένως οι δύο συνιστώσες της κοσμικής ακτινοβολίας είναι η γαλαξιακή και η ηλιακή κοσμική ακτινοβολία. Αποτελείται κυρίως από φορτισμένα σωματίδια: πρωτογενή που εισέρχονται στην ατμόσφαιρα της Γης και δευτερογενή που δημιουργούνται από την αλληλεπίδραση των πρωτογενών με την ατμόσφαιρα. Η κοσμική ακτινοβολία συνεισφέρει περίπου 13% στο φυσικό υπόβαθρο της ιοντίζουσας ακτινοβολίας, στο επίπεδο της θάλασσας. Άλλες συνιστώσες του φυσικού υποβάθρου είναι το ραδόνιο και τα φυσικά ραδιενεργά πετρώματα. Σύμφωνα με την UNSCEAR [UNSCEAR 2000], η παγκόσμια μέση τιμή της ετήσιας δόσης από την έκθεση σε φυσικές πηγές ιοντίζουσας ακτινοβολίας συμπεριλαμβανομένης της κοσμικής ακτινοβολίας είναι 2,4 mSv. Λόγω των διακυμάνσεων, το 65% του παγκόσμιου πληθυσμού αναμένεται να λαμβάνει ετήσιες δόσεις μεταξύ 1 και 3 mSv, το 25% δόσεις μικρότερες από 1 mSv και το 10% δόσεις μεγαλύτερες από 3 mSv. Στην Ελλάδα [Askounis P. et al. 2018] η μέση ετήσια δόση του κοινού, εκτός της ιατρικής έκθεσης, κατανέμεται σε:

- 1,8 mSv από την έκθεση στο Ραδόνιο,
- 0,4 mSv από την έκθεση σε οικοδομικά υλικά,
- 0,3 mSv από την έκθεση σε κοσμική ακτινοβολία,
- 0,2 mSv από την κατανάλωση τροφίμων και
- λιγότερο από 0,1 mSv από το έδαφος.

Η έκθεση των ανθρώπων στην κοσμική ακτινοβολία εξαρτάται κυρίως από τέσσερις παράγοντες (Σχήμα 1) που με σειρά επίδρασης στο μέγεθός της είναι:

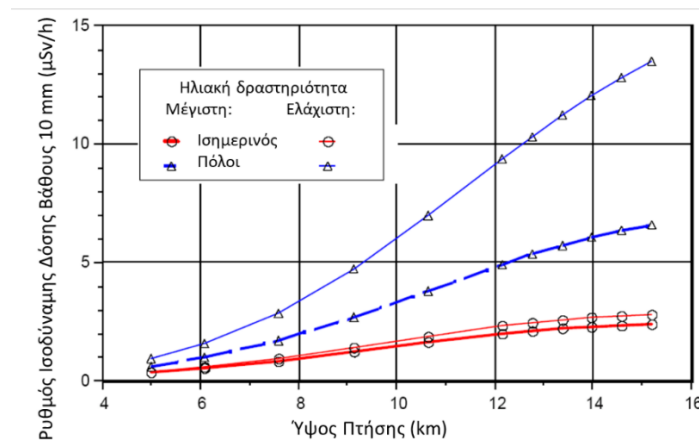
1. Το υψόμετρο: Στα συνηθισμένα ύψη πτήσης των πολιτικών αεροσκαφών (9-12 km) τα επίπεδα κοσμικής ακτινοβολίας αυξάνονται περίπου 100 φορές σε σύγκριση με το επίπεδο της θάλασσας.
2. Το γεωγραφικό ύψος: Με την μεταβολή του γεωγραφικού ύψους των πτήσεων από τον ισημερινό προς τους πόλους παρατηρείται διπλασιασμός των επιπέδων κοσμικής ακτινοβολίας.
3. Η κανονική ηλιακή δραστηριότητα: Η μείωση της ηλιακής δραστηριότητας – με τη μείωση του ηλιακού μαγνητικού πεδίου που επιφέρει – αυξάνει τη ροή της γαλαξιακής κοσμικής ακτινοβολίας που φτάνει στο ηλιακό σύστημα και κατ' επέκταση στη Γη. Για τον λόγο αυτόν παρατηρείται αυξομείωση της κοσμικής ακτινοβολίας μεταξύ των περιόδων χαμηλής και υψηλής ηλιακής δραστηριότητας, που εμφανίζονται κατά τον 11ετή κύκλο ηλιακής δραστηριότητας.
4. Τα γεγονότα έξαρσης ηλιακών πρωτονίων ή solar particle events (SPEs): Η ηλιακή κοσμική ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει σημαντικές αλλά σύντομες εξάρσεις της κοσμικής ακτινοβολίας. Μόνο ένα μικρό ποσοστό των SPEs, που αντιστοιχεί συνήθως σε λιγότερες από 8 εξάρσεις ανά 11ετή κύκλο ηλιακής δραστηριότητας, προκαλεί σημαντική αύξηση της δόσης στα συνηθισμένα ύψη πτήσης. Οι εξάρσεις SPEs διαρκούν από αρκετές ώρες μέχρι μερικές ημέρες και η ακριβής πρόβλεψή τους είναι ιδιαίτερα δύσκολη.

Το ιπτάμενο πλήρωμα αεροσκαφών και διαστημόπλοιων εκτίθεται σε αυξημένα επίπεδα κοσμικής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια των πτήσεων λόγω υψομέτρου. Συγκεκριμένα, τα ιπτάμενα

πληρώματα των ελληνικών αεροπορικών εταιρειών λαμβάνουν κατά μέσο όρο ετήσια ενεργό δόση 1,2 mSv ανά έτος [Askounis P. et al. 2018], χαμηλότερη ωστόσο από την αντίστοιχη τιμή δόσης ιπτάμενων πληρωμάτων αεροπορικών εταιρειών που πραγματοποιούν πιο συχνά διηπειρωτικές πτήσεις.

Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν αναπτυχθεί υπολογιστικά προγράμματα (λογισμικά) τα οποία, λαμβάνοντας υπόψη τη συνέλιξη των παραπάνω τεσσάρων παραγόντων (Σχήμα 1) και τις παραμέτρους από τις οποίες αυτοί εξαρτώνται, εκτιμούν τη δόση συγκεκριμένων δρομολογίων ακόμα και πριν την εκτέλεσή τους. Συνεπώς η χρήση αυτών των λογισμικών μπορεί να λειτουργήσει προληπτικά και να επιλεγθούν δρομολόγια τα οποία θα δώσουν μικρότερη δόση στο πλήρωμα. Τα δεδομένα που απαιτούν τα λογισμικά από τον χρήστη τους είναι:

- η ημερομηνία και η τοποθεσία αναχώρησης,
- το προφίλ της πτήσης: δηλαδή τους χρόνους: ανόδου, πτήσης και καθόδου
- και η τοποθεσία άφιξης.



Σχήμα 1: Η εξάρτηση της δόσης $H^*(10)$ από το υψόμετρο, το γεωγραφικό ύψος και την ηλιακή δραστηριότητα (πηγή: [European Commission 2009]).

Υπάρχουν διαθέσιμα διάφορα τέτοια λογισμικά, αναγνωρισμένα από την επιστημονική κοινότητα, όπως τα AVIDOS, CARI, EPCARD, IASON-FREE, PC-AIRE και SIEVERT. Όλα απαιτούν αναβάθμιση των δεδομένων τους αρκετά συχνά, ώστε να λαμβάνουν υπόψη τις μεταβολές της ηλιακής δραστηριότητας και του γεωμαγνητικού πεδίου. Παραδείγματα των δόσεων που έχουν υπολογιστεί από αυτά για συγκεκριμένα δρομολόγια, παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Τα σύγχρονα λογισμικά παρουσιάζουν αποκλίσεις μικρότερες από 20% του μέσου όρου των αποτελεσμάτων τους. Λεπτομερής ανάλυση για την επιλογή και την χρήση των λογισμικών παρατίθεται στην βιβλιογραφία [European Commission 2009], [European Commission 2012].

Πίνακας 1: Εκτίμηση της δόσης $H^*(10)$ για πτήσεις διαφορετικών αποστάσεων, από προγράμματα υπολογισμού δόσης.

Διαδρομή Πτήσης	Φρανκφούρτη - Νέα Υόρκη	Κοπεγχάγη - Μπανγκόκ	Μαδρίτη - Νέα Υόρκη	Μαδρίτη - Στοκχόλμη	Παρίσι - Πράγα	Μαδρίτη - Παρίσι
Ημερομηνία Πτήσης	27.10.1997	31.12.1998	28.04.2001	21.08.2001	31.01.1995	27.04.2001
Δόση (μSv) EPCARD	43,0	30,2	24,3	12,0	3,6	3,5
Δόση (μSv) CARI-6	32,0	26,3	21,9	11,8	3,0	3,5

2. Σκοπός και αντικείμενο

Οι παρούσες κατευθυντήριες οδηγίες εκδίδονται σε εφαρμογή των όσων προβλέπονται στο μέρος (γ), της παρ. 3, του άρθρου 35, του π.δ. 101/2018, σχετικά με την επαγγελματική έκθεση των ιπτάμενων πληρωμάτων και συγκεκριμένα όταν η έκθεση τους στην κοσμική ακτινοβολία κατά την πτήση ενδέχεται να υπερβεί μια ενεργό δόση 6 mSv ετησίως. Συγκεκριμένα, οι παρούσες οδηγίες συστήνουν ποιες από τις απαιτήσεις του κεφαλαίου ΣΤ' του π.δ. 101/2018 είναι κατάλληλες για τα ιπτάμενα πληρώματα και τον τρόπο εφαρμογής των εν λόγω απαιτήσεων.

Σημειώνεται ότι οι κατευθυντήριες οδηγίες δεν θεσπίζουν νέες ρυθμίσεις, αλλά παρέχονται προς διευκόλυνση των οργανισμών που απασχολούν ιπτάμενα πληρώματα για την εκτέλεση επιβατικών και εμπορικών πτήσεων. Το παρόν κείμενο περιγράφει ενδεικτικά μέτρα ακτινοπροστασίας και ασφάλειας που λαμβάνονται ώστε να διασφαλίζεται η έκθεση των ιπτάμενων πληρωμάτων, σύμφωνα με τις γενικές αρχές ακτινοπροστασίας, όπως αυτές περιγράφονται στο άρθρο 5 του π.δ. 101/2018.

Ο υπόχρεος οργανισμός μπορεί να κληθεί να αποδείξει ότι συμμορφώνεται με το πλαίσιο των Κανονισμών Ακτινοπροστασίας με οποιοδήποτε πρόσφορο μέσο ή μεθοδολογία.

Οι παρούσες κατευθυντήριες οδηγίες αναθεωρούνται, όποτε κριθεί απαραίτητο, λαμβανομένων υπόψη: (α) των επιστημονικών και τεχνολογικών εξελίξεων, (β) των υφιστάμενων πρακτικών και των συνθηκών υπό τις οποίες εκτελούνται οι πτήσεις.

3. Πρόγραμμα προστασίας και ασφάλειας

Ο οργανισμός που λειτουργεί αεροσκάφος στο οποίο η ενεργός δόση στο ιπτάμενο πλήρωμα από κοσμική ακτινοβολία ενδέχεται να υπερβαίνει τα 6 mSv ανά έτος καταρτίζει πρόγραμμα προστασίας και ασφάλειας στο οποίο συστήνεται να περιλαμβάνονται στόχοι και κατάλληλες διαδικασίες και μέτρα, όπως:

- η ενημέρωση των ιπτάμενων πληρωμάτων αναφορικά με την έκθεση σε κοσμική ακτινοβολία,
- η εκτίμηση των δόσεων που λαμβάνουν τα ιπτάμενα πληρώματα κατά την διάρκεια των πτήσεων,
- η τήρηση αρχείου σχετικά με την ατομική παρακολούθηση της δόσης των εργαζομένων κατηγορίας Α, όπως ορίζονται στο άρθρο 40 του π.δ. 101/2018,
- το πρόγραμμα εργασίας – καθηκόντων (roster) και τους κανόνες με τους οποίους τροποποιείται, ώστε να εφαρμόζεται η αρχή της βελτιστοποίησης και η ισοκατανομή των δόσεων στα ιπτάμενα πληρώματα.

Ο οργανισμός ανασκοπεί συστηματικά το εν λόγω πρόγραμμα προστασίας και ασφάλειας για την αποτελεσματικότητά του και εντοπίζει τυχόν δυσλειτουργίες ή ελλείψεις, λαμβάνει μέτρα για την αποτροπή της επανάληψής τους και εξασφαλίζει ότι τα μέτρα είναι αρκετά για την επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί για την προστασία και ασφάλεια των εργαζομένων. Ενδεικτικοί λόγοι για την ανασκόπηση του προγράμματος είναι η μεταβολή του πλήθους των τακτικών, διεθνών και διηπειρωτικών δρομολογίων, του πλήθους των ιπτάμενων πληρωμάτων που διαθέτει ο οργανισμός, του ωραρίου τους, κ.λπ.

3.1. Ενημέρωση Εργαζομένων

Ο οργανισμός φροντίζει για την ενημέρωση των εργαζομένων πριν προσληφθούν και για την κατάρτισή τους ανά τακτά χρονικά διαστήματα, πχ. κάθε τριετία με στόχο να αποκτηθεί από τους εργαζόμενους νοοτροπία ασφάλειας (άρθρο 31, π.δ. 101/2018). Στα αντικείμενα της κατάρτισης προτείνεται να περιλαμβάνονται:

- η έκθεση στην κοσμική ακτινοβολία, με επιμερισμό στους τέσσερις παράγοντες που επηρεάζουν το μέγεθός της,
- οι συνεπαγόμενοι κίνδυνοι σε συνάρτηση με το μέγεθος της έκθεσης,
- παραδείγματα υπολογισμού της έκθεσης με κατάλληλο λογισμικό (βλ. 3.2) για δρομολόγια εθνικά, διεθνή και διηπειρωτικά.
- οι διαδικασίες και τα μέτρα ακτινοπροστασίας που έχουν ληφθεί από τον οργανισμό, όπως οι κανόνες διαμόρφωσης του προγράμματος εργασίας – καθηκόντων των ιπτάμενων πληρωμάτων.

3.2. Εκτίμηση δόσεων και ατομική παρακολούθηση

Ο οργανισμός φροντίζει για την εκτίμηση των δόσεων των ιπτάμενων πληρωμάτων με κατάλληλο λογισμικό το οποίο λαμβάνει υπόψη, κατά τους υπολογισμούς, τους παράγοντες που επηρεάζουν την έκθεση των ιπτάμενων πληρωμάτων (βλ. παράγραφο 1). Ο οργανισμός χρησιμοποιεί αναγνωρισμένο, βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας [European Commission 2012], λογισμικό. Ενδεικτικά αναφέρονται τα AVIDOS, CARI, EPCARD, FDOScale, IASON-FREE, JISCARD EX, PANDOCA, PC-AIRE, PLANETOCOSMISCS, QARM και SIEVERT. Στο πρόγραμμα ακτινοπροστασίας και ασφάλειας προτείνεται να περιλαμβάνονται:

1. η ονομασία, και τα υπολογιστικά χαρακτηριστικά του λογισμικού, όπως οι παράγοντες που λαμβάνει υπόψη κατά τους υπολογισμούς της έκθεσης,
2. η εκτίμηση της έκθεσης για κάθε δρομολόγιο που πραγματοποιεί σε τακτική βάση ο οργανισμός, όπως και παραδείγματα έκτακτων δρομολογίων που ενδέχεται να πραγματοποιήσει.

Τα αποτελέσματα εκτίμησης έκθεσης από το ως άνω λογισμικό εκφράζονται σε περιβαλλοντική ισοδύναμη δόση $H^*(10)$ ή και ενεργό δόση. Συστήνεται η χρήση έκδοσης λογισμικού, που λαμβάνει υπόψη τους συντελεστές W_{tissue} του ICRP 103 [ICRP 2007] για τον υπολογισμό της ενεργού δόσης.

Επίσης στο πρόγραμμα ακτινοπροστασίας και ασφάλειας προτείνεται να περιλαμβάνεται το αρχείο δόσεων, όπου ο οργανισμός καταγράφει τα αποτελέσματα της ατομικής παρακολούθησης των ιπτάμενων πληρωμάτων, όπως περιγράφεται στο παράρτημα X του π.δ. 101/2018. Το αρχείο υποβάλλεται στην ΕΕΑΕ με σκοπό να καταχωρηθούν οι τιμές στο Εθνικό Αρχείο Δόσεων της περίπτωσης ιη της παρ. 4 του άρθρου 43 του ν. 4310/2014.

Ο οργανισμός φροντίζει να εκτιμά ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ενδεικτικά ανά μήνα, την έκθεση των ιπτάμενων πληρωμάτων, με το προαναφερθέν λογισμικό.

Τέλος, σημειώνεται ότι η ηλιακή κοσμική ακτινοβολία παρουσιάζει σημαντικές αλλά σύντομες εξάρσεις, οι οποίες είναι ιδιαίτερα έντονες σε υψόμετρα πάνω από 15 km. Οι υπερατλαντικές πτήσεις συνήθως πραγματοποιούνται σε τέτοια υψόμετρα. Για το λόγο αυτό είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη η πιθανότητα τα πληρώματα των πτήσεων αυτών να εκτίθενται σε υψηλότερα και με μεγαλύτερες διακυμάνσεις επίπεδα ακτινοβολίας.

3.3. Πρόγραμμα εργασίας – καθηκόντων (roster)

Ο οργανισμός εντάσσει στο πρόγραμμα προστασίας και ασφάλειας το roster των πληρωμάτων για τα οποία η εκτίμηση έκθεσης σε κοσμική ακτινοβολία συνεπάγεται ενεργό δόση μεγαλύτερη από 6 mSv ανά έτος.

Στην περίπτωση που προκύπτει ότι η ενεργός δόση των πληρωμάτων δύναται να ξεπεράσει τα όρια δόσεων, ο οργανισμός λαμβάνει κατάλληλα μέτρα για τη μείωσή της. Επί παραδείγματι, ο οργανισμός διαθέτει επιπλέον εργαζομένους στους οποίους θα επιμεριστούν τα δρομολόγια αυξημένης έκθεσης, ώστε ο ετήσιος χρόνος πτήσης του καθενός από αυτούς στα συγκεκριμένα δρομολόγια να μειωθεί.

Για τις έγκυες, ο οργανισμός φροντίζει να διαμορφώνει το πρόγραμμα εργασίας και καθηκόντων τους, ώστε να εξασφαλίζεται η εφαρμογή του άρθρου 10 του π.δ. 101/2018.

4. Βιβλιογραφία

Askounis P. et al. 2018 "A Holistic Approach to Assessment of Population Exposure to Radiation: Challenges and Initiatives of a Regulatory Authority", Health Physics: October 2018 - Volume 115 - Issue 4 - p 474-489 doi: 10.1097/HP.0000000000000912

European Commission 2009. "Radiation Protection 156, Evaluation of the implementation of radiation protection measures for aircrew ".
<https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/156.pdf>.

European Commission 2012. "Radiation Protection 173, Comparison of Codes Assessing Radiation Exposure of Aircraft Crew due to Galactic Cosmic Radiation".
<https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/173.pdf>.

IAEA 2018. "Safety Standards for Protecting People and the Environment General Safety Guide No. GSG-7 Occupational Radiation Protection" General Safety Guide. International Atomic Energy Agency. <https://www.iaea.org/publications/11113/occupational-radiation-protection>.

ICRP 2007. "ICRP Publication 103, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection" Ann. ICRP 37 (2-4).
https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_37_2-4

ICRP 2016. "ICRP Publication 132, Radiological Protection from Cosmic Radiation in Aviation" Ann. ICRP 45(1), 1-48. <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0146645316645449>

UNSCEAR 2000. "Sources and Effects of Ionizing Radiation (Report to the General Assembly)", United Nations Publications, New York.
https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2000_1.html