



Εργαστηριακές Ασκήσεις Κοσμικής Ακτινοβολίας

u^b

^b
UNIVERSITÄT
BERN

Άσκηση Νο1:

Θέμα: 'Από το φάσμα των κοσμικών ακτίνων στον προσδιορισμό των δόσεων ακτινοβολίας στα αεροπορικά πληρώματα και τους επιβάτες. Χρησιμοποιώντας την Ευρωπαϊκή βάση δεδομένων Μετρητών Νετρονίων – Neutron Monitor Database (NMDB)'

Υπεύθυνοι:

Rolf Bütikofer, Physikalisches Institut, University of Bern, Sidlerstrasse 5, CH-3012, Bern, Switzerland
Tel: +41 31 631 40 58
Fax: +41 31 631 44 05
e-mail: rolf.buetikofer@space.unibe.ch

Αθανάσιος Παπαϊωάννου, Τμήμα Φυσικής, Τομέας Πυρηνικής Φυσικής & Στοιχειωδών Σωματιδίων, Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, ΤΚ 15773 Πανεπιστημιούπολη, Αθήνα, Ελλάδα
Τηλ.: +30 210 727 6901
Fax: +30 210 727 6987
e-mail: atrapaio@phys.uoa.gr

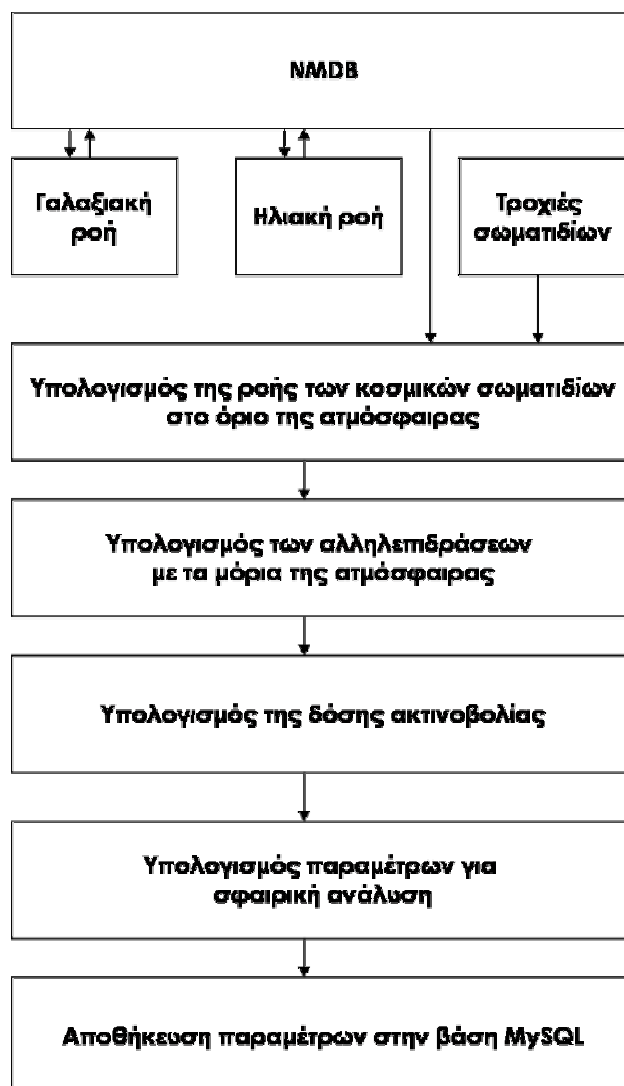
1. Περίληψη

Στην άσκηση αυτή θα πραγματοποιηθεί προσδιορισμός των προσλαμβανόμενων δόσεων ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια εμπορικών πτήσεων, εξαιτίας της κοσμικής ακτινοβολίας (γαλαξιακής και ηλιακής). Ο υπολογισμός βασίζεται στους κώδικες MAGNETOCOSMIC και PLANETOCOSMICS που ανέπτυξε το Πανεπιστήμιο της Βέρνης, ενώ ολόκληρη η άσκηση θα αναπτυχθεί μέσω της ανοικτής υπηρεσίας της Ευρωπαϊκής βάσης δεδομένων Μετρητών Νετρονίων: Neutron Monitor Database (NMDB) (www.nmdb.eu). Τα αποτελέσματα του υπολογισμού θα συγκριθούν με άλλα μοντέλα υπολογισμού των δόσεων ακτινοβολίας, ενώ το σύνολο των συμπερασμάτων θα καταγραφούν σε μια συνοπτική αναφορά από κάθε φοιτητή.

2. Εισαγωγή

Η έκθεση στα σωματίδια κοσμικής ακτινοβολίας, κατά τη διάρκεια των πτήσεων είναι ένα ζήτημα αυξανόμενου ενδιαφέροντος. Το 1996 τα αεροπορικά πληρώματα στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) αναγνωρίστηκαν ως εργαζόμενοι εκτεθειμένοι σε ακτινοβολία με αποτέλεσμα την θέσπιση αντίστοιχων νόμων προάσπισης της υγείας και της ασφάλειάς τους.

Η Ευρωπαϊκή Βάση δεδομένων Μετρητών νετρονίων – Neutron Monitor Database (NMDB) παρέχει υπηρεσία υπολογισμού των ενεργών δόσεων ακτινοβολίας εξαιτίας Γαλαξιακών και Ηλιακών κοσμικών σωματιδίων κατά τη διάρκεια αεροπορικών ταξιδιών, βασιζόμενη σε δεδομένα Μετρητών Νετρονίων, πραγματικού χρόνου.



Εικόνα 1: Διάγραμμα υπολογισμών του ιονισμού και των δόσεων ακτινοβολίας μέσα από το NMDB

Τα βήματα για τον υπολογισμό των δόσεων ακτινοβολίας εξαιτίας των κοσμικών σωματιδίων σχηματικά απεικονίζονται στην εικόνα 1 και είναι τα ακόλουθα:

1. Υπολογισμός των τροχιών (trajectories) των κοσμικών σωματιδίων μέσα στην μαγνητόσφαιρα της Γης.
2. Προσδιορισμός της ροής των κοσμικών σωματιδίων στο όριο της ατμόσφαιρας της Γης.
3. Προσομοίωση των αλληλεπιδράσεων Γαλαξιακών και Ηλιακών Κοσμικών Σωματιδίων με τα σωματίδια της ατμόσφαιρας της Γης – προσδιορισμός της ροής των διαφορετικών ειδών δευτερογενών σωματιδίων εντός της ατμόσφαιρας της Γης. Για το βήμα αυτό χρησιμοποιούνται οι κώδικες PLANETOCOSMICS και MAGNETOCOSMICS που βασίζονται στο GEANT4 Toolkit.
4. Ο προσδιορισμός των ενεργών δόσεων ακτινοβολίας σε καθορισμένο ατμοσφαιρικό βάθος υπολογίζεται από τη ροή των δευτερογενών σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, χρησιμοποιώντας προ υπολογισμένους παράγοντες μετατροπής των ροών σε δόσεις.

3. Βήματα της άσκησης

3.1. Καθορισμός της αεροπορικής διαδρομής

3.2. Καθορισμός των δόσεων προσλαμβανόμενης ακτινοβολίας για την επιλεγμένη διαδρομή

3.3. Σύγκριση των αποτελεσμάτων με άλλα μοντέλα υπολογισμού

3.4. Δημιουργία περιληπτικής αναφοράς της διαδικασίας και των αποτελεσμάτων

3.1. Καθορισμός της αεροπορικής διαδρομής

Στόχος:

Καθορισμός της αεροπορικής διαδρομής από το αεροδρόμιο της Αθήνας προς κάποιον προορισμό (για παράδειγμα υπερατλαντικό ταξίδι, εντός του Ευρωπαϊκού χώρου κτλ)

3.1.1. Το προφίλ της πτήσης

Οι εμπορικές πτήσεις ακολουθούν ένα συγκεκριμένο προφίλ:

1. **Πριν από τη πτήση** – το κομμάτι αυτό οριοθετείται πριν από την πτήση και έχει να κάνει με τους ελέγχους στο αεροδρόμιο, την πύλη αναχώρησης κ.ά.
2. **Απογείωση** – ο πιλότος ενεργοποιεί το αεροπλάνο και τροχοδρομεί με το μέγιστο της ταχύτητας του αεροπλάνου
3. **Αναχώρηση** – το αεροπλάνο σηκώνεται από το έδαφος και ανεβαίνει μέχρι το επιθυμητό ύψος πτήσης
4. **Εν πτήση** – το αεροπλάνο πετά μέσα από έναν ή και περισσότερους εναέριους χώρους και προσεγγίζει προς το επιθυμητό αεροδρόμιο
5. **Κάθοδος** – ο πιλότος καθοδηγεί το αεροπλάνο προς το επιθυμητό αεροδρόμιο
6. **Προσέγγιση** – ο πιλότος ευθυγραμμίζει το αεροπλάνο με τον επιλεγμένο αεροδιάδρομο
7. **Προσγείωση** – το αεροπλάνο προσγειώνεται στο επιθυμητό αεροδρόμιο και κατευθύνεται προς την πύλη εξόδου

Για τον υπολογισμό των δόσεων ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια ενός αεροπορικού ταξιδιού, τα χαρακτηριστικά των φάσεων: **Αναχώρηση**, **Εν πτήση** και **Κάθοδος** θα πρέπει να είναι γνωστά

Αναχώρηση

Η διάρκεια της φάσης ανόδου κυμαίνεται από μερικά λεπτά μέχρι και μισή περίπου ώρα.

Τυπική τιμή: 20-30 λεπτά

Τυπικό βήμα ανόδου: 120 πόδια / ναυτικό μίλι (από Wikipedia -Category:Flight phases: Climb) (1 foot = 0.3048 meters, 1 nautical mile = 1.85200 km)

Εν πτήση

Τυπικό ύψος αεροπορικού ταξιδιού: ανάμεσα στα 29.000 και 41.000 πόδια (από Wikipedia - North Atlantic Tracks). Τυπική ταχύτητα πτήσης: 950 km/h

Κάθοδος

Τυπικός χρόνος καθόδου: 20-30 λεπτά

3.1.2. Η διαδρομή

Συνήθως κατά τις αεροπορικές διαδρομές τα αεροπλάνα επιλέγουν τον μέγιστο κύκλο (μεσημβρινό) που ενώνει τις τοποθεσίες αναχώρησης και προσγείωσης. Η διαδικασία υπολογισμού των μέγιστων αυτών κύκλων περιγράφεται στους συνδέσμους: <http://williams.best.vwh.net/gccalc.htm> και <http://williams.best.vwh.net/avform.htm##Intermediate>

Τα αεροπορικά ύψη πολλές φορές προσδιορίζονται ως αεροπορικά επίπεδα π.χ. <http://en.wikipedia.org/wiki/Flightlevel>

3.2. Καθορισμός των δόσεων προσλαμβανόμενης ακτινοβολίας για την επιλεγμένη διαδρομή

Η εφαρμογή του NMDB υπολογίζει τις δόσεις ακτινοβολίας εξαιτίας των κοσμικών ακτίνων σε ατμοσφαιρικό ύψος 250 g/cm² (που αντιστοιχεί σε ύψος ~10.5 km επάνω από το επίπεδο της θάλασσας).

Η ιστοσελίδα πρόσβασης στην υπηρεσία είναι η: <http://kspc22.unibe.ch>.

Τα δεδομένα που περιέχει η ιστοσελίδα χρονολογούνται από την 1 Ιουνίου 2009 μέχρι και τις 14 Απριλίου 2010.

Στόχος:

- Υπολογισμός των δόσεων ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια αεροπορικής διαδρομής.
- Δημιουργία του γραφήματος της δόσης ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια μιας αεροπορικής διαδρομής ως συνάρτηση του γεωγραφικού ή του γεωμαγνητικού latitude. (Μετασχηματισμός συντεταγμένων: γεωγραφικές (γεωκεντρικές) σε γεωμαγνητικές: <http://modelweb.gsfc.nasa.gov/models/cgm/cgm.html>)

3.2.1. Δόσεις ακτινοβολίας ως συνάρτηση του ατμοσφαιρικού βάθους

Η ενεργός δόση ακτινοβολίας υπολογίζεται για ένα καθορισμένο ατμοσφαιρικό βάθος των 250 g/cm². Για την Γαλαξιακή Κοσμική Ακτινοβολία το 2009 η δόση ακτινοβολίας $E(h)$ ως συνάρτηση του ατμοσφαιρικού βάθους h , μπορεί να προσδιοριστεί από τον παρακάτω μαθηματικό τύπο:

$$E(h) = E(h=250\text{g/cm}^2) * \exp(-0.006*(h[\text{g/cm}^2] - 250))$$

όπου

$E(h=250\text{g/cm}^2)$: Ενεργός δόση ακτινοβολίας σε ατμοσφαιρικό ύψος $h = 250$ g/cm²

3.2.2. Τυπικές τιμές ύψους [Km] και ατμοσφαιρικού βάρους [g/cm²]

altitude[km]	depth[g/cm ²]	height
20	5.489950E+01	
19	6.446560E+01	
18	7.569050E+01	
17	8.884870E+01	
16	1.042610E+02	
15	1.223030E+02	
14.5	1.324450E+02	
14	1.434160E+02	
13.5	1.552800E+02	
13	1.681040E+02	
12.5	1.819590E+02	
12	1.969140E+02	
11.5	2.130430E+02	
11	2.304160E+02	
10.5	2.491020E+02	
10	2.691690E+02	
9.5	2.906760E+02	
9	3.136790E+02	
8.5	3.382340E+02	
8	3.643920E+02	
7.5	3.922050E+02	
7	4.217240E+02	
6.5	4.530010E+02	
6	4.860850E+02	
5.5	5.210310E+02	
5	5.578960E+02	
4.5	5.967430E+02	
4	6.376420E+02	
3.5	6.806750E+02	
3	7.259350E+02	
2.5	7.735340E+02	
2	8.236070E+02	
1.5	8.763110E+02	
1	9.318360E+02	
0.5	9.904120E+02	
0	1.052310E+03	height

3.3. Σύγκριση των αποτελεσμάτων με άλλα μοντέλα υπολογισμού

Υπάρχουν διάφοροι κώδικες που προσδιορίζουν την έκθεση στη Γαλαξιακή Κοσμική Ακτινοβολία σε αεροπορικά ύψη. Συγκεκριμένα:

CARI: στηρίζεται στον κώδικα LUIN.

<http://jag.cami.jccbi.gov/cariprofile.asp> και

http://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/aeromedical/radiobiology/cari6/

EPCARD: στηρίζεται στον κώδικα FLUKA για προσομοιώσεις Monte Carlo.

http://www.helmholtz-muenchen.de/epcard2/index_en.phtml

SIEVERT: εξειδικευμένος κώδικας που στηρίζεται στην έκδοση EPCARD 3.34.

<http://www.sievert-system.org/>

Στόχοι:

- Υπολογισμός της δόσης ακτινοβολίας για μια συγκεκριμένη αεροπορική διαδρομή (αυτή που υπολογίσαμε στο βήμα 3.1 και γνωρίζουμε την προσλαμβανόμενη δόση ακτινοβολίας από το βήμα 3.2), με όλα τα παραπάνω μοντέλα.
- Σύγκριση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων.

4. Γενικές πληροφορίες

4.1. Φυσικές και βιολογικές επιπτώσεις της ιονίζουσας ακτινοβολίας

Συνοπτική αναφορά των σχετικών φυσικών, βιολογικών και επιδημιολογικών επιπτώσεων της ιονίζουσας ακτινοβολίας. Αντιδράσεις και γεγονότα που οδηγούν από την αρχικές φυσικές διαδικασίες της απορρόφησης της ενέργειας από τα άτομα, μέσα από την εξέλιξη των μορίων και των κυττάρων, σε καταστροφικές συνέπειες για την υγεία. Ακόμη και σε θάνατο λόγω καρκίνου.

4.1.1. Τι είναι η ιονίζουσα ακτινοβολία;

Ιονισμός

Η διαδικασία κατά την οποία ένα άτομο ή μόριο αποκτά ή χάνει ηλεκτρικό φορτίο. Η παραγωγή ιόντων.

Ιονίζουσα ακτινοβολία

Αναφέρεται σε υπο-ατομικά σωματίδια που κατά την αλληλεπίδρασή τους με ένα άτομο μπορούν είτε να το εξαναγκάσουν να απολέσει ένα ηλεκτρόνιο είτε να διασπάσει τον πυρήνα του. Η εμφάνιση του φαινομένου του ιονισμού εξαρτάται από την **ενέργεια** του ανεξάρτητων σωματιδίων (ή κυμάτων) και όχι από τον **συνολικό αριθμό** αυτών. Παραδείγματα ιονίζουσας ακτινοβολίας στοιχειοθετούν τα φωτόνια (ακτίνες X, ακτίνες γ), τα νετρόνια, τα πρωτόνια, τα ηλεκτρόνια και τα ποζιτρόνια.

Πηγές ιονίζουσας ακτινοβολίας

Η ιονίζουσα ακτινοβολία εμφανίζεται εξαιτίας φυσικών διαδικασιών όπως η εξασθένηση του ουρανίου στη Γη, αλλά και από τεχνητές διαδικασίες όπως η χρήση ακτίνων X για ιατρικούς λόγους. Συνεπώς η ακτινοβολία χαρακτηρίζεται ως φυσική ή τεχνητή ανάλογα με την πηγή της. Οι φυσικές πηγές ακτινοβολίας περιλαμβάνουν τις Κοσμικές Ακτίνες, τις ακτίνες γ από τη Γη, τα προϊόντα της εξασθένησης του ραδονίου στον αέρα καθώς και άλλα που βρίσκονται σε φαγητά και ποτά. Οι τεχνητές πηγές περιλαμβάνουν τις ακτίνες X που χρησιμοποιούνται για ιατρικούς σκοπούς, κατάλοιπα από την πυρηνική βιομηχανία, βιομηχανικές ακτίνες γ

4.1.2. Πώς μετρείται η έκθεση στην ιονίζουσα ακτινοβολία;

Δόση ενέργειας: Το ποσό ιονίζουσας ακτινοβολίας στο οποίο εκτίθεται το σώμα, ποσοτικοποιείτε ως το πηλίκο του ποσού της απορροφόμενης ενέργειας από ένα σώμα προς τη μάζα του σώματος. Η μονάδα για αυτή τη δόση ενέργειας ή αλλιώς της απορροφόμενης δόσης είναι το Gray (Gy) και αντιστοιχεί σε απορροφόμενη ενέργεια 1 Joule ανά Kg (J/Kg).

Μια τυπική θανάσιμη δόση των 3 Gy, ομογενώς κατανομημένη θα αύξανε την θερμοκρασία του εκτεθειμένου σώματος κατά 0.0007 °C. Σε αντίθεση

με την θερμική αυτή ενέργεια που εξαπλώνετε ομοιόμορφα σε όλα τα μόρια του σώματος, η απορροφόμενη ενέργεια εξαιτίας της ιονίζουσας ακτινοβολίας εντοπίζεται γύρω από μεμονωμένα άτομα. Για το λόγο αυτό οι επιδράσεις τις ιονίζουσας ακτινοβολίας είναι ιδιαίτερα σημαντικές.

Ισοδύναμη Δόση: Η δόση ενέργειας θα πρέπει να τροποποιηθεί περαιτέρω για να μπορέσει να ποσοτικοποιήσει τις επιδράσεις της ιονίζουσας ακτινοβολίας σε βιολογικό και ιατρικό επίπεδο. Οι διαφορετικές βιολογικές επιδράσεις διαφόρων πηγών ακτινοβολίας λογίζονται με ένα καθορισμένο ανά πηγή 'βάρους ακτινοβολίας' ή αλλιώς 'παράγοντα ποιότητας' με τον οποίο πολλαπλασιάζεται η δόση ενέργειας. Το αποτέλεσμα είναι η ισοδύναμη δόση να ορίζεται ως η σχετική έκθεση ιστού σε ιονίζουσα ακτινοβολία.

Ειδικότερα, η ισοδύναμη δόση H_T , σε έναν ιστό ή όργανο T , δύνανται από τη σχέση:

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

όπου $D_{T,R}$ είναι η μέση απορροφόμενη δόση ακτινοβολίας R , από έναν ιστό T , w_R ο παράγοντας ποιότητας της πηγής ακτινοβολίας R . Οι βασικότεροι παράγοντες ποιότητας παρατίθενται στον Πίνακα 1:

Πίνακας 1: Βασικοί παράγοντες ποιότητας ιονίζουσας ακτινοβολίας

Ακτινοβολία		w_R
γ		1
e^-, μ		1
Νετρόνια	< 10 keV	5
	10 keV – 100 keV	10
	> 100 keV – 2 MeV	20
	> 2 MeV – 20 MeV	10
	> 20 MeV	5
Πρωτόνια	> 2 MeV – 10 MeV	5
	> 10 MeV	2

Ενεργός δόση: Για συγκεκριμένες βιολογικές επιδράσεις της ακτινοβολίας, που οδηγούν σε καρκίνο, περαιτέρω τροποποίηση της ισοδύναμης δόσης είναι αναγκαία. Θα πρέπει να εκφραστούν οι διαφορετικές ιδιότητες ιστών που απορροφούν διαφορετικά είδη ακτινοβολίας και ο τρόπος που οδηγούν σε θανάσιμο ραδιενεργό καρκίνο. Αυτό επιτυγχάνεται με τον πολλαπλασιασμό της ισοδύναμης δόσης για έναν ιστό ή όργανο H , με έναν άλλο 'βάρους' που χαρακτηρίζει τον ιστό ή το όργανο. Με τον τρόπο αυτό ποσοτικοποιείται η ευαισθησία του ιστού στην ακτινοβολία. Το άθροισμα των δόσεων ακτινοβολίας ανά ιστό ή όργανο ονομάζεται

ενεργός δόση, E , που είναι το βασικό μέτρο έκθεσης σε ακτινοβολία και χρησιμοποιείται στην ραδιο-προστασία. Η μονάδα της ενεργούς δόσης είναι το Sv (Sievert) και τα πολλαπλάσια αυτού (π.χ μSv, mSv). Όπως και στα βάρη της ακτινοβολίας έτσι και στα βάρη του ιστού ή του οργάνου οι επιστημονικές μελέτες έχουν οδηγήσει σε ορισμένες αποδεκτές τιμές, ανά περίπτωση (Πίνακας 2).

Πίνακας 2: Βασικά πολλαπλασιαστικά βάρη ιστών ή οργάνων

Ιστός ή όργανο	w_T
Γονίδια	0.20
Μυελός των οστών, έντερο, πνεύμονας, στομάχι	0.12
Κύστη, στήθος, συκώτι, οισοφάγος, θυρωειδής,	0.05
Κόκαλα, δέρμα	0.01

Η ενεργός δόση E ορίζεται ως το άθροισμα όλων των ισοδύναμων δόσεων κάθε ιστού και οργάνου του ανθρώπινου σώματος:

$$E = \sum_T w_T H_T$$

όπου H_T είναι η ισοδύναμη δόση ακτινοβολίας σε ιστό ή όργανο T και w_T είναι το αντίστοιχο βάρος (βλέπε και πίνακα 2).

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η ενεργός δόση E είναι ένα μέγεθος μη μετρούμενο.

4.1.3. Μέσες ετήσιες δόσεις

Οι μέσες ετήσιες δόσεις ακτινοβολίας στον παγκόσμιο πληθυσμό από όλες τις γνωστές πηγές εμφανίζονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3: Τυπικές τιμές δόσεων ακτινοβολίας ανά πηγή

Πηγή	Δόση [mSv / έτος]
Φυσική ακτινοβολία	
Κοσμική ακτινοβολία	0.4
Επίγεια	0.5
Εσωτερική (στο σώμα)	0.3
Εισπνεόμενο ραδόνιο	1.2
Τεχνητή ακτινοβολία	
Ιατρική (λόγω εξετάσεων)	0.4
Ατμοσφαιρική (λόγω πυρηνικών δοκιμών)	0.005
Chernobyl	0.002
Πυρηνικής ενέργειας	0.0002
Ολική δόση	2.8

Ολική δόση: Ετήσια ολική δόση 2.8 mSv αντιστοιχεί σε προσλαμβανόμενη δόση 0.3 μ Sv/h. Για λόγους σύγκρισης αναφέρουμε ότι ο γενικότερος κανόνας απορρόφησης δόσεων ακτινοβολίας σε αεροπορικά ύψη είναι υποδεικνύει δόσεις των 5 μ Sv / h.

Περισσότερο από το 85% της ολικής δόσης προέρχεται από φυσικές πηγές, ενώ το μισό από αυτό οφείλεται σε εξασθένιση προϊόντων ραδονίου στο σπίτι. Η έκθεση λόγω ιατρικών εξετάσεων προσδίδει περίπου 14% επί του συνόλου, ενώ όλες οι άλλες τεχνητές πηγές ακτινοβολίας συγκεντρώνουν περίπου το 1% της ολικής δόσης. Οι μεγαλύτερες και ουσιαστικότερες διακυμάνσεις στις προσλαμβανόμενες δόσεις εμφανίζονται λόγω της εξασθένισης του ραδονίου από προϊόντα στο σπίτι. Μια διαδικασία που δύναται να προσδώσει ετήσιες δόσεις μέχρι και 10 mSv.

4.1.4. Περιορισμοί στην έκθεση σε ακτινοβολία

Για τα άτομα που εκτίθενται σε ακτινοβολία στο χώρο εργασίας τους η Ευρωπαϊκή Κοινότητα Ατομικής Ενέργειας (European Atomic Energy Community – EURATOM) προτείνει ένα μέγιστο όριο ενεργούς δόσης ακτινοβολίας ίσο προς 100 mSv, σε μια περίοδο πέντε ετών. Σε κάθε περίπτωση, η επιτροπή αναφέρει ότι σε ετήσια βάση η ενεργός δόση ακτινοβολίας δεν πρέπει να ξεπερνά τα 50 mSv. Τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης μπορούν να θεσπίσουν αυστηρότερα κριτήρια (συνεπώς μικρότερα όρια στις προσλαμβανόμενες δόσεις). Τα όρια αυτά εφαρμόζονται και σε εργαζόμενους που εκτίθενται σε αυξανόμενα επίπεδα φυσικής ακτινοβολίας (κυρίως σε πηγές ραδονίου στα ορυχεία ή και σε εργοστάσια επεξεργασίας του πόσιμου νερού) όπως και σε αεροπορικά πληρώματα (με κυρίαρχη πηγή ακτινοβολίας τα κοσμικά σωματίδια). Ωστόσο, για μια εγκυμονούσα – μέλος αεροπορικού πληρώματος – το όριο είναι πολύ αυστηρό και δεν ξεπερνά το 1 mSv καθ' όλη τη διάρκεια της εγκυμοσύνης.

Λογικά βήματα θα πρέπει να ακολουθηθούν ώστε η ολική έκθεση του γενικού πληθυσμού να είναι όσο το δυνατόν πιο περιορισμένη λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες οικονομικούς και κοινωνικούς. Η μέση προσλαμβανόμενη δόση για τον γενικό πληθυσμό είναι 1 mSv ανά έτος. Στη δόση αυτή προστίθεται η δόση λόγω φυσικών πηγών (2.4 mSv ανά έτος) και η έκθεση λόγω ιατρικών εξετάσεων (0.4 mSv ανά έτος).

4.1.5. Έκθεση σε ακτινοβολία των μελών των αεροπορικών πληρωμάτων

Η έκθεση στην κοσμική ακτινοβολία τόσο των μελών των αεροπορικών πληρωμάτων όσο και των ταξιδιωτών που πετούν πολύ συχνά είναι σημαντική. Στα μεσαία πλάτη και σε ένα ατμοσφαιρικό βάθος 250 gr/cm^2 , ου αντιστοιχεί σε ύψος πτήσης 10 Km η προσλαμβανόμενη δόση ακτινοβολίας είναι περίπου 5 μ Sv/h.

Η δόση ακτινοβολίας εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος στο οποίο πραγματοποιείται η πτήση, καθώς και από το ύψος. Εάν θεωρήσουμε ότι το

τυπικό ύψος των πτήσεων είναι τα 10Km, η εξάρτηση από το γεωγραφικό πλάτος θεμελιώνεται στο γεγονός ότι στους πόλους (μεγάλα γεωγραφικά πλάτη) η δόση ακτινοβολίας είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι στον ισημερινό (μικρά γεωγραφικά πλάτη). Από πρόσφατες μελέτες καταδεικνύεται ότι επάνω από γεωγραφικό πλάτος 60° δεν υπάρχει ουσιαστική αύξηση της δόσης ακτινοβολίας σε σχέση με το γεωγραφικό πλάτος. Η συγκριτική διαφορά των προσλαμβανόμενων δόσεων ακτινοβολίας σε ύψος 10 Km, ανάμεσα στους πόλους και τον ισημερινό έχει ένα παράγοντα 4.

Πίνακας 3: Τυπικές τιμές δόσεων ακτινοβολίας σε επιλεγμένα αεροπορικά ταξίδια

Αεροπορική διαδρομή	Δόση ακτινοβολίας
Αμβούργο-Μόναχο	3μSv
Μόναχο-Ελσίνκι	10μSv
Φρανκφούρτη-Γιοχάνεσμπουργκ	25μSv
Φρανκφούρτη-Ουάσιγκτον	45μSv
Φρανκφούρτη-Τόκιο	50μSv
Μόναχο-Σαν Φρανσίσκο	60μSv

5. Περισσότερες πληροφορίες

- ο www.nmdb.eu
- ο Ιονίζουσα ακτινοβολία: http://en.wikipedia.org/wiki/Ionizing_radiation
- ο Ισοδύναμη δόση ακτινοβολίας:
http://en.wikipedia.org/wiki/Equivalent_dose
- ο Τι θα πρέπει να γνωρίζουν τα αεροπορικά πληρώματα σχετικά με την έκθεσή τους στην κοσμική ακτινοβολία:
<http://www.faa.gov/library/reports/medical/oamtechreports/2000s/medi a/0316.pdf>