

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

### **ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

## Γενικά

Οι πυρήνες ορισμένων χημικών στοιχείων είναι ασταθείς και διασπώνται «αυθόρμητα» σε άλλα στοιχεία. Τα αρχικά στοιχεία αυτά λέγονται ραδιενεργά. Κατά τη ραδιενεργό διάσπαση εκπέμπονται σωματίδια  $\alpha$  (πυρήνες Ηλίου, He), σωματίδια  $\beta$  (ηλεκτρόνια) και ακτινοβολία  $\gamma$  (φωτόνια υψηλής ενέργειας).

Η «ραδιενεργότητα» ενός υλικού μετράται με την μονάδα Becquerel (**Bq**) που ισούται με τον αριθμό των διασπάσεων ανά sec.

Κατά τη διάσπαση ενός ραδιενεργού πυρήνα δεν εκπέμπονται και οι τρεις δυνατές μορφές «ακτινοβολίας», ούτε διασπώνται όλοι οι ραδιενεργοί πυρήνες με τον ίδιο ρυθμό. Ο όρος «χρόνος ημιζωής» χρησιμοποιείται για να δηλώσει το ρυθμό αυτό και ορίζεται ως ο χρόνος που απαιτείται για μειωθεί ένας αριθμός πυρήνων στο μισό. Μερικοί ενδεικτικά παραδείγματα είναι :

Στοιχείο	Ακτινοβολία	Χρόνος Ημιζωής
Ραδόνιο <sup>222</sup> Rn	$\alpha$	3,8 ημέρες
Ιώδιο <sup>131</sup> I	$\beta, \gamma$	8 ημέρες
Κοβάλτιο <sup>60</sup> Co	$\beta, \gamma$	5 χρόνια
Τρίτιο <sup>3</sup> H	$\beta$	12,3 χρόνια
Στρόντιο <sup>90</sup> Sr	$\beta$	28 χρόνια
Καίσιο <sup>137</sup> Cs	$\beta, \gamma$	30 χρόνια
Ράδιο <sup>226</sup> Ra	$\alpha, \gamma$	1600 χρόνια
Άνθρακας <sup>14</sup> C	$\beta$	5730 χρόνια
Πλουτώνιο <sup>239</sup> Pu	$\alpha, \gamma$	24000 χρόνια

### Μέτρηση επιπτώσεων της ραδιενέργειας

Η έκθεση ενός ζώντος οργανισμού στη ραδιενεργό ακτινοβολία έχει δύο ειδών επιπτώσεις στην υγεία.

- Επιπτώσεις που η σοβαρότητα της βλάβης που προκαλείται είναι ανάλογη της δόσης και για τις οποίες υπάρχει ένα όριο κάτω από το οποίο δεν παρατηρούνται βλάβες. Οι επιπτώσεις αυτές λέγονται αιτιοκρατικές (deterministic). Συνήθως η ακτινοβολία που λαμβάνεται από φυσικά ή ελεγχόμενα αίτια είναι πολύ κάτω από τα σχετικά όρια και ως εκ τούτου δεν απασχολεί όσον αφορά το πόσιμο νερό.

- Επιπτώσεις των οποίων η πιθανότητα να συμβούν είναι ανάλογη με την δόση και είναι γνωστές σαν «στοχαστικές» επιπτώσεις και για αυτές δεν υπάρχει κάποιο κάτω όριο ασφαλείας. Οι επιπτώσεις αυτές αφορούν κυρίως την εμφάνιση καρκίνου.

Το μέγεθος της βιολογικής ζημιάς ενός οργανισμού από τη ραδιενεργό ακτινοβολία εξαρτάται :

1. Από τη δόση που απορροφήθηκε. Όσο περισσότερο χρόνο εκτεθούμε και όσο πιο κοντά είμαστε στη ραδιενεργό πηγή τόσο μεγαλύτερη δόση θα πάρουμε.
2. Από το ρυθμό της δόσης. Αν πάρουμε ορισμένη δόση σε 1 ώρα θα προκαλέσει μεγαλύτερη ζημιά από το αν την πάρουμε σε 1 μήνα.
3. Από το είδος της ακτινοβολίας. Η ακτινοβολία α προκαλεί μεγαλύτερη ζημιά, αν φτάσει στους πνεύμονες ή στο αίμα, από ότι η ακτινοβολία β και γ.
4. Από την ακτινευαισθησία του υποκειμένου. Τα παιδιά έχουν μεγαλύτερη ακτινευαισθησία από τους ενήλικες.
5. Από τις χημικές ιδιότητες του ραδιοϊσοτόπου. Το στρόντιο π.χ. λόγω της χημικής ομοιότητας με το ασβέστιο καταλαμβάνει τη θέση του ασβεστίου στο γάλα, στα οστά και στα δόντια.

Για το λόγο αυτό το Διεθνές Συμβούλιο Προστασίας από τη Ραδιενέργεια (ICRP) έχει ορίσει συντελεστές στάθμισης (βαρύτητας) για τις διάφορες ακτινοβολίες και τους διάφορους ιστούς προκειμένου να υπάρχει ένα μέτρο σύγκρισης των επιπτώσεων. Το άθροισμα της διπλά σταθμισμένης δόσης που λαμβάνεται από όλους τους ιστούς και τα όργανα του σώματος δίνει ένα μέτρο της συνολικής βλάβης και ονομάζεται **αποτελεσματική δόση**. Επιπλέον οι ραδιενεργοί πυρήνες που τυχόν εισέλθουν στον οργανισμό κατακρατούνται σε κάποιο βαθμό με συνέπεια τα αποτελέσματά τους να διαρκούν μήνες ή χρόνια. Η **αναπόφευκτη αποτελεσματική δόση** είναι ένα μέτρο της αποτελεσματικής δόσης που επιβάλλεται στον οργανισμό δια βίου μετά τη λήψη ενός ραδιενεργού πυρήνα. Αυτό το μέτρο της έκθεσης είναι σημαντικό για τη σύνταξη των κανονισμών και

αναφέρεται εν συντομία με το συνοπτικό όρο «δόση», μετράται δε σε **sieverts (Sv)**. Το Διεθνές Συμβούλιο Προστασίας από τη Ραδιενέργεια (ICRP) έχει εκτιμήσει ότι η δόση 1 Sv είναι πιθανόν να προκαλέσει 1 καρκίνο ανά 500 άτομα του γενικού πληθυσμού που θα προσβληθεί.

Πρέπει να σημειωθεί ότι όλοι οι άνθρωποι λαμβάνουν ένα ελάχιστο ποσό ραδιενεργού ακτινοβολίας από φυσικές ή «ελεγχόμενες» αιτίες. Ο παρακάτω πίνακας δίνει τις ενδεικτικές τιμές ανά κατηγορία :

Πηγή ραδιενέργειας	Ποσότητα ανά έτος σε mSv
Κοσμική ακτινοβολία στο επίπεδο της θάλασσας	0,3
Οικοδομικά υλικά κατοικιών	0,8
Έδαφος (ραδιενέργεια από πετρώματα, χώμα, επιφανειακό νερό)	0,3
Αέρας, φαγητό, νερό	0,3
Διαγνωστικές ακτινογραφίες (εκτίμηση) Θώρακος 20/επίσκεψη, Γαστρεντερική 200/επ, Οδοντιατρική 10/επ	0,3
Άλλες πηγές (TV, χρήση πυρηνικής τεχνολογίας κλπ)	0,2
<b>Σύνολο</b>	<b>2,2</b>

### Όρια

Η ΠΟΥ συνιστά αναπόφευκτη αποτελεσματική δόση 0,1 mSv από την κατανάλωση νερού για ένα χρόνο. Αυτή η δόση συνιστά περίπου το 5% της ετήσιας δόσης που λαμβάνεται με διάφορους τρόπους από ένα άνθρωπο. Κάτω από αυτό το όριο το νερό θεωρείται ασφαλές για ανθρώπινη κατανάλωση και δεν απαιτούνται μέτρα για την παραπέρα μείωση της ραδιενέργειας που τυχόν περιέχει. Πρακτικά, η συνιστώμενες μέγιστες «συγκεντρώσεις» ακτινοβολίας είναι 0,1 Bq/l για την συνολική ακτινοβολία α και 1 Bq/l για τη συνολική ακτινοβολία β.

Η «συγκέντρωση» των διαφόρων ραδιενεργών στοιχείων που παράγουν δόση 0,1 mSv με κατανάλωση πόσιμου νερού για ένα έτος είναι :

Στοιχείο	Συγκέντρωση Bq/litre
<sup>3</sup> H	7800,0
<sup>14</sup> C	250,0
<sup>60</sup> Co	20,0
<sup>89</sup> Sr	37,0
<sup>90</sup> Sr	5,0
<sup>129</sup> I	1,0
<sup>131</sup> I	6,0
<sup>134</sup> Cs	7,0
<sup>137</sup> Cs	10,0
<sup>210</sup> Pb	0,1
<sup>210</sup> Po	0,2
<sup>224</sup> Ra	2,0
<sup>226</sup> Ra	1,0
<sup>228</sup> Ra	1,0
<sup>232</sup> Th	0,1
<sup>234</sup> U	4,0
<sup>238</sup> U	4,0
<sup>239</sup> Pu	0,3

Η στρατηγική ελέγχου του πόσιμου νερού που συνίσταται από την ΠΟΥ για την ύπαρξη ραδιενεργού ακτινοβολίας είναι η παρακάτω:

- Αν η «συγκέντρωση» της συνολικής α ακτινοβολίας είναι μικρότερη από 0,1 Bq/l και της β ακτινοβολίας μικρότερη από 1 Bq/l τότε το νερό θεωρείται κατάλληλο για ανθρώπινη κατανάλωση.
- Αν ένα από τα δύο όρια παραβιάζονται πρέπει να προσδιοριστούν τα ραδιενεργά στοιχεία που περιέχονται και να μετρηθεί η «συγκέντρωση» της ακτινοβολίας του καθενός  $C_i$ . Με βάση τον τύπο :

$$\sum_i (C_i/RC_i)$$

υπολογίζεται η αναπόφευκτη αποτελεσματική δόση, λαμβάνοντας τις τιμές  $RC_i$  από τον παραπάνω πίνακα.

- Αν η αριθμητική τιμή είναι μικρότερη από 0,1 mSv το νερό θεωρείται κατάλληλο για κατανάλωση.
- Αν η τιμή είναι μεγαλύτερη από 0,1 mSv τότε πρέπει να ληφθούν διορθωτικά μέτρα.

### **Το Ραδόνιο ( $^{222}\text{Rn}$ )**

Το ραδόνιο είναι ένα ραδιενεργό στοιχείο που προέρχεται από την διάσπαση του ουρανίου-238 και ευρίσκεται στα ορυκτά και στο υπόγειο νερό. Επειδή σε συνήθη θερμοκρασία και πίεση είναι αέριο έχει την τάση να διαπηδά από τα στερεά ή υγρά υλικά στον αέρα. Έτσι είναι δυνατόν να το εισπνεύσουμε. Το ραδόνιο διασπάται σε πολώνιο ( $^{218}\text{Po}$ ) εκπέμποντας ακτινοβολία  $\alpha$ . Το πολώνιο που είναι σε θερμοκρασία και πίεση περιβάλλοντος στερεό εναποτίθεται στους πνεύμονες, έχει χρόνο ημιζωής 3 min και διασπάται σε μόλυβδο ( $^{214}\text{Pb}$ ) με εκπομπή ακτινοβολίας  $\alpha$ . Η ακτινοβολία  $\alpha$  μπορεί να προκαλέσει καρκίνο του πνεύμονα.

Ο προσδιορισμός οδηγού τιμής για το ραδόνιο στο νερό είναι ένα δύσκολο πρόβλημα. Κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας του νερού μέρος του ραδονίου που μπορεί να περιέχεται στο νερό εκροφάται στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα να εισπνέεται από τους εργαζόμενους της εγκατάστασης. Το ραδόνιο που τυχόν περιέχεται στο νερό του δικτύου κατά την χρήση του εκροφάται σε μεγάλο βαθμό στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα τα εισπνέεται από τους χρήστες του νερού. Όμως στο ραδόνιο που προέρχεται από το νερό προστίθεται αυτό που διαφεύγει από τα οικοδομικά υλικά καθώς και από το έδαφος. Το ραδόνιο συνεισφέρει περίπου το μισό της ετήσιας προσλαμβανόμενης δόσης ραδιενέργειας, είναι δηλαδή περίπου 1 mSv/έτος. Έτσι, ο προσδιορισμός του ορίου για το ραδόνιο στο νερό πρέπει να γίνεται από τις αρχές για κάθε τόπο λαμβάνοντας υπόψη την συνολική εκπομπή ραδονίου από το σύνολο των υλικών της περιοχής.