

## ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΟΣ ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ορισμένες δραστηριότητες του ανθρώπου επιφέρουν αύξηση των συγκεντρώσεων ραδιενέργειας στο περιβάλλον. Διακρίνουμε συνήθως δύο κατηγορίες τέτοιων δραστηριοτήτων.

α. Δραστηριότητες οι οποίες επιφέρουν ανακατανομή των φυσικών ραδιενεργών στοιχείων, χωρίς να συνδέονται με την παραγωγή νέων. Π.χ. οι οικοδομικές δραστηριότητες (αύξηση των συγκεντρώσεων Ραδονίου και θυγατρικών του παραγώγων στον αέρα των εσωτερικών χώρων), η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνιτικούς ατμοηλεκτρικούς σταθμούς (διασπορά τέφρας με αυξημένες συγκεντρώσεις στοιχείων της οικογενείας του Ουρανίου-238) κ.ά.

β. Δραστηριότητες οι οποίες επιφέρουν τη διασπορά τεχνητών ραδιενεργών στοιχείων - προϊόντων σχάσης ή ενεργοποίησης πυρήνων. Π.χ. οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας πυρηνικών καυσίμων, ορισμένες μονάδες πυρηνικής ιατρικής, οι πυρηνικοί ηλεκτρικοί σταθμοί (ΠΗΣ), οι δοκιμές πυρηνικών όπλων κ.ά.

Η συνολικά παραγόμενη ενεργότητα είναι τεράστια σε σχέση με αυτή που χαρακτηρίζει το φυσικό περιβάλλον.

Εκλυόμενη Ενεργότητα ανά Μεγατόννο Ισχύος Πυρηνικής Έκρηξης. Σύνολο Εκλύσεων από Πυρηνικές Δοκιμές και από Ατύχημα Τσερνόμπιλ

Ραδιενεργό ισότοπο	Χρόνος υποδιπλασ.	Έκλυση $10^{15}$ Bq ανά μεγατόννο	Εκτιμώμενη συνολική έκλυση, $10^{18}$ Bq	
			Πυρην.δοκ. 1945-1960	Τσερνόμπιλ (στις 6.5.86)
Στρόντιο-89	50,5 ημ.	590	128	0,093
Στρόντιο-90	28,6 χρ.	3,9	0,85	0,0074
Ζιρκόνιο-95	64,0 ημ.	920	200	0,15
Ρουθένιο-103	39,4 ημ.	1500	325	0,12
Ρουθένιο-106	368 ημ.	78	17	0,04
Ιώδιο-131	8,04 ημ.	4200	910	0,27
Καίσιο-136	13,2 ημ.	32	7	0,007
Καίσιο-137	30,2 χρ.	5,9	1,3	0,033
Βάριο-140	12,8 ημ.	4700	1020	0,17
Δημήτριο-141	32,5 ημ.	1600	350	0,10
Δημήτριο-144	284 ημ.	190	41	0,09

### Ραδιενεργός ρύπανση του περιβάλλοντος

Η μεταφορά ραδιενεργών υλικών από την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια της Γης είναι γνωστή στην ειδική βιβλιογραφία ως «ραδιενεργός επίπτωση»

Ο τόπος και ο χρόνος κατά τον οποίο τα ραδιενεργά προϊόντα μιας πυρηνικής έκρηξης θα φτάσουν στο έδαφος εξαρτάται από πολλούς

παράγοντες και ένας από αυτούς είναι το ύψος στο οποίο γίνεται η έκρηξη. Όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος αυτό, τόσο μεγαλύτερο μέρος από τα παραγόμενα ραδιενεργά υλικά – τα οποία βρίσκονται αρχικά σε αέρια κατάσταση – ανυψώνεται στα ανώτερα και ανώτατα στρώματα της ατμόσφαιρας. Με την πάροδο του χρόνου, καθώς η θερμοκρασία της πυρακτωμένης σφαίρας ελαττώνεται, αρχίζει η συνένωση των ραδιενεργών υλικών σε μικροσκοπικά σωματίδια. Λόγω του μικρού τους μεγέθους, η πτώση τους στην επιφάνεια της Γης γίνεται πολύ αργά και ένα σημαντικό μέρος μπορεί να παραμείνει στην ατμόσφαιρα για αρκετούς μήνες ή χρόνια. Κατά την περίοδο αυτή τα ραδιενεργά σωματίδια μετακινούνται από τα ατμοσφαιρικά ρεύματα και ειδικά αυτά που έφτασαν σε στρατοσφαιρικά ύψη διαχέονται σε όλο το ημισφαίριο όπου έγινε η έκρηξη.

Όσο χαμηλότερα πραγματοποιείται η πυρηνική έκρηξη, τόσο μεγαλύτερο μέρος από τα υλικά που αποτελούν το ραδιενεργό νέφος προέρχονται από την επιφάνεια της Γης, ως αποτέλεσμα της τεράστιας αναρρόφησης που συνοδεύει την ανύψωση της πύρινης σφαίρας και σχηματίζει τη χαρακτηριστική εικόνα του «μανιταριού». Τα σωματίδια στην περίπτωση αυτή είναι αρκετά μεγάλα και πέφτουν πολύ γρηγορότερα στο έδαφος (σε διάστημα ωρών μέχρι ημερών), αναμειγμένα με τα ραδιενεργά προϊόντα της πυρηνικής έκρηξης. Κατά την παραμονή τους στην ατμόσφαιρα τα σωματίδια αυτά μεταφέρονται επίσης σε κάποιες αποστάσεις από τα χαμηλότερα αέρια ρεύματα, αποστάσεις όμως που είναι, τυπικά, της τάξης των εκατοντάδων χιλιομέτρων.

**Η** κατεύθυνση και η έκταση που καλύπτει η άμεση ραδιενεργός επίπτωση εξαρτώνται από τις μετεωρολογικές συνθήκες, κυρίως από την κατεύθυνση και ταχύτητα των ανέμων, αλλά και από την ύπαρξη και την ένταση των βροχοπτώσεων.

Η ραδιενεργός επίπτωση μετρείται με την ενεργότητα που μεταφέρεται σε μονάδα επιφάνειας του εδάφους και εκφράζεται με τις χρησιμοποιούμενες σήμερα μονάδες σε  $Bq\ m^{-2}$ .

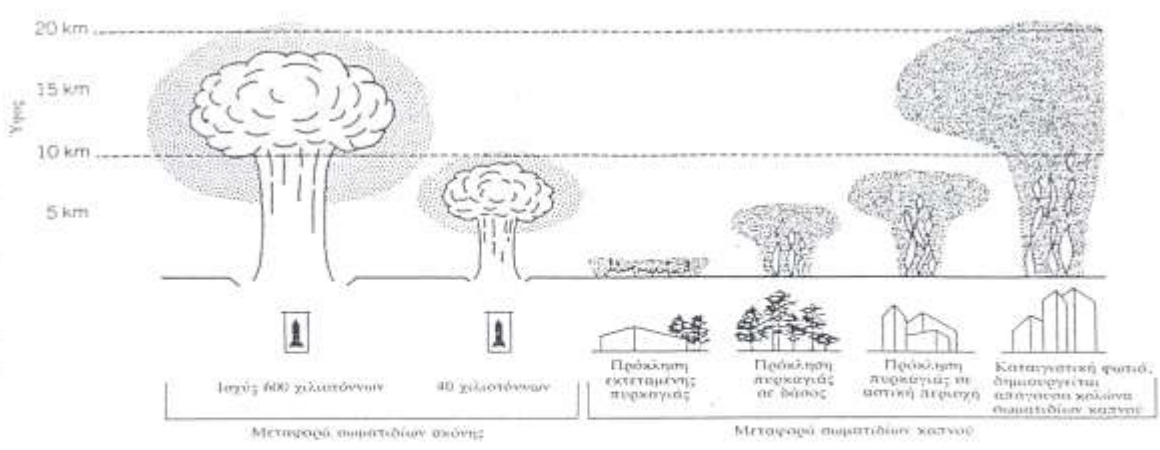
**Πίνακας** Ραδιενεργός Επίπτωση λόγω των Πυρηνικών Δοκιμών στην Ατμόσφαιρα κατά την Περίοδο 1945-1980,  $kBq\ m^{-2}$

Περιοχή εκτίμησης

Καίσιο-137

Στρόντιο-90

Γαλιενεργός ρύπανση του περιβάλλοντος



Μια πυρηνική έκρηξη μεταφέρει ασόνη και καπνό από την επιφάνεια της Γης στην ατμόσφαιρα. Τα σχετικά ύψη που μεταφέρονται ανάλογα με την ισχύ της δόμβας, φαίνονται στο σχήμα.



ΣΥΜΕΩΝ ΕΛ. ΣΑΧΙΝΙΔΗΣ  
ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ Π.Σ.Ε.



1 κατά τα τέλη Μαΐου το μέγεθος αυτό μειώθηκε κατά 4 περίπου φορές, ενώ ένα χρόνο μετά μειώθηκε κατά 8 φορές. Από το επίπεδο αυτό η μείωση γίνεται με αργό ρυθμό, λόγω της μακροδιήθησης του Καισίου-137, το οποίο προσδιορίζει σχεδόν εξ ολοκλήρου πλέον την εξωτερική δόση. Η εικόνα διαφέρει σημαντικά στις αστικές περιοχές, όπου διαπιστώνεται πολύ γρηγορότερη μείωση της επιφανειακής ραδιενέργειας, κυρίως λόγω της έκπλυσης μεγάλου μέρους της από την ασφάλτο, τα πλακόστρωτα και τα τσιμέντα.

Η ρύπανση των φυτών έγινε με δύο κυρίως τρόπους:

ΣΥΜΕΟΝ ΕΛ. ΣΑΧ  
— ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ Π.Δ

α) Με την άμεση προσκόλληση των ραδιενεργών ρύπων στην επιφάνεια των καρπών, των λαχανικών, των χόρτων κλπ και την μερική προσρόφησή τους στα εσωτερικότερα τμήματα. Ο μηχανισμός αυτός προσδιόρισε σε μεγάλο βαθμό τη ρύπανση των φυτών κατά τις πρώτες εβδομάδες, κατά τις οποίες σημαντικό ρόλο, από ραδιολογικής σκοπιάς, έπαιζαν τα ραδιενεργά ισότοπα του Ιωδίου, του Καισίου και, λιγότερο, του Ρουθηνίου και άλλων στοιχείων. Η άμεση αυτή ρύπανση προσδιόρισε και τις υψηλές αρχικές συγκεντρώσεις ραδιενεργού Ιωδίου και Καισίου στα ζωικά προϊόντα και ιδιαίτερα στο γάλα των μικρών ζώων, όπως επίσης και την επιβάρυνση των σιτηρών και των ζωοτροφών που εκφράστηκε πολύ αργότερα μέσω των συσχετιζόμενων προϊόντων.

β) Με την έμμεση ρύπανση των καρπών από τη ραδιενέργεια που εισχώρησε στα φυτά μέσω του φυλλώματος.

Οι συγκεντρώσεις ραδιενέργειας στα τρόφιμα είχαν διαφορετική εξέλιξη, ανάλογα με το ραδιενεργό ισότοπο.

Οι συγκεντρώσεις Καισίου μειώθηκαν επίσης σημαντικά σε πολλά προϊόντα και ήταν ελάχιστες σε όλα τα νέα λαχανικά και κηπευτικά, ήδη από το 1986. Η χρήση όμως ζωοτροφών με αυξημένες συγκεντρώσεις Καισίου κατά τη χειμερινή περίοδο 1986-87 οδήγησε στη διατήρηση κάποιας επιβάρυνσης στο κρέας και στο γάλα.

## ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΟΣ ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

### Ραδιενεργός ρύπανση του ατμοσφαιρικού αέρα

Ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι το πρώτο συστατικό του οικοσυστήματος που ρυπαίνεται μετά από πυρηνική έκρηξη ή από ατύχημα πυρηνικής εγκατάστασης που συνεπάγεται διαρροή ραδιενεργού υλικού στην ατμόσφαιρα. Το είδος και η έκταση της ραδιενεργού ρύπανσης του αέρα εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από τα χαρακτηριστικά της πηγής που την προκάλεσε.

το θέμα της ρύπανσης του αέρα

δεν θα μας απασχολήσει περισσότερο. Θα θέλαμε μόνο να τονίσουμε ότι:  
α) ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι ο δρόμος μέσω του οποίου τα ραδιενεργά άτομα φτάνουν στα υπόλοιπα συστατικά του οικοσυστήματος, όταν το

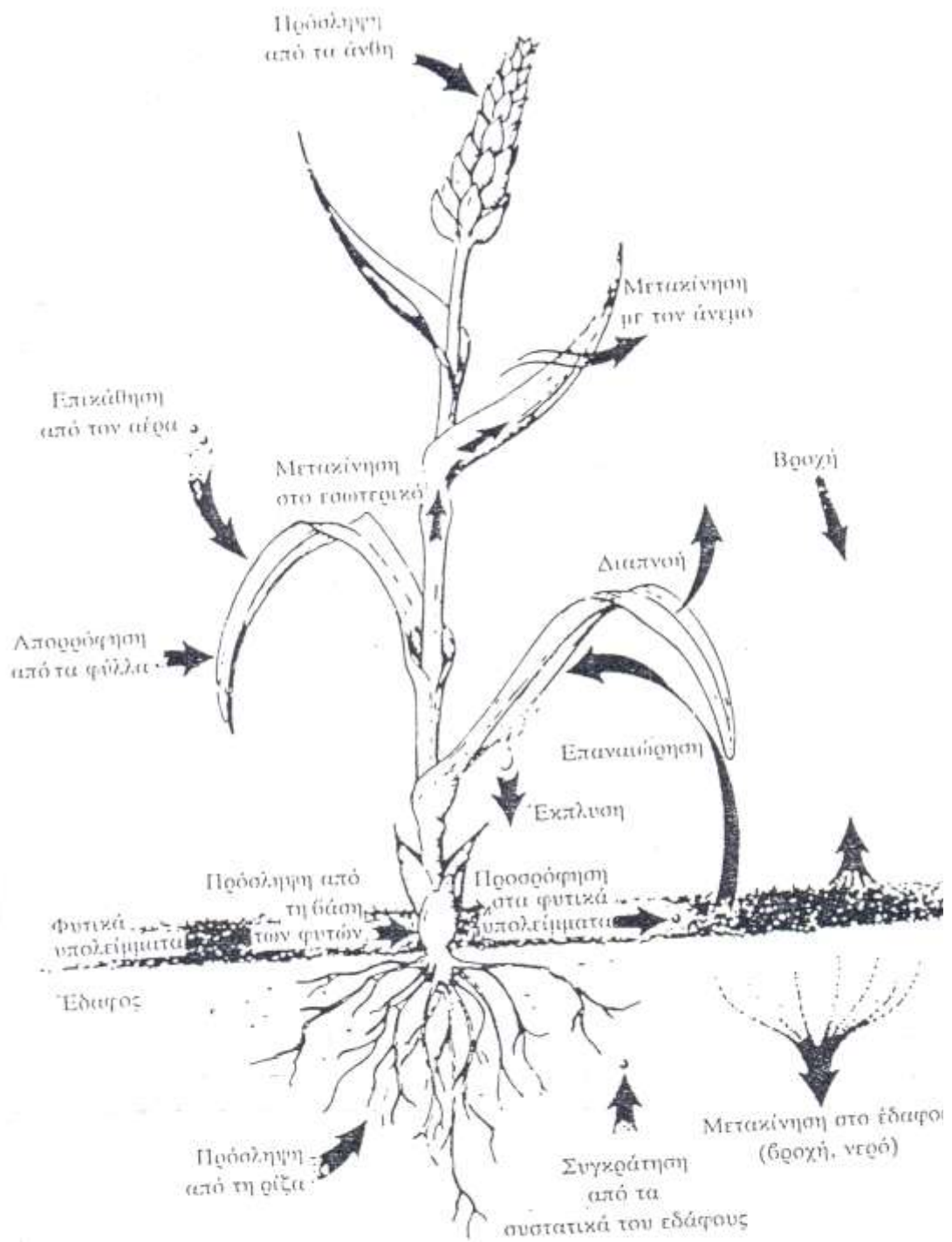
οικοσύστημα βρίσκεται μακριά από την πυρηνική έκρηξη ή το πυρηνικό ατύχημα και β) η κατανάλωση ραδιορρυθπασμένης τροφής και νερού είναι βέβαια επικίνδυνη για τον άνθρωπο και τα ζώα, περισσότερο όμως επικίνδυνη είναι η εισπνοή αέρα που έχει ραδιορρύπανση και αυτό γιατί ενώ κάθε εικοσιτετράωρο ο άνθρωπος πίνει περίπου δύο λίτρα νερό και καταναλώνει ένα κιλό τροφή, εισπνέει 10 έως 20 χιλιάδες λίτρα αέρα δηλ. πολύ μεγάλη ποσότητα. Αν ο αέρας αυτός είναι έστω και ελάχιστη ρυπασμένος, είναι δυνατό μέσω αυτού του δρόμου να συσσωρευτούν στο σώμα του ανθρώπου πολύ μεγάλες ποσότητες ραδιενεργών ατόμων.

### **Ραδιενεργός ρύπανση του εδάφους**

Το μεγαλύτερο μέρος των ραδιενεργών υλικών μιας ραδιενεργού επίπτωσης σε χερσαίο οικοσύστημα καταλήγει, αργά ή γρήγορα, με τον ένα τρόπο ή τον άλλο, στο έδαφος. Από τη θέση αυτή τα ραδιενεργά άτομα των ραδιενεργών υλικών ακτινοβολούν τα φυτά, τα ζώα και τον άνθρωπο. Η παραμονή των ραδιενεργών ατόμων στην επιφάνεια του εδάφους εξαρτάται από το χρόνο υποδιπλασιασμού τους και από την αλληλεπίδρασή τους με το έδαφος και τα άλλα συστατικά του οικοσυστήματος. Η βροχή π.χ. μπορεί να μετακινήσει σε βαθύτερα στρώματα ή να οδηγήσει σε ποτάμια, λίμνες και θάλασσες μόνο τα ραδιενεργά άτομα που δεν συγκρατούνται από τα λεπτόκοκα αργιλλικά συστατικά του εδάφους. Αντίθετα, τα ραδιενεργά άτομα που συγκρατούνται στην επιφάνεια των κολλοειδών του εδάφους μετακινούνται βραδύτατα. Η μετακίνηση των τελευταίων προς τα βαθύτερα στρώματα σπάνια ξεπερνά τα λίγα (2-3) επιφανειακά εκατοστά του μέτρου με φυσικές διεργασίες. Το Στρόντιο-90 π.χ. προσροφάται έντονα από τα κολλοειδή του εδάφους με αποτέλεσμα σε μια ραδιενεργό επίπτωση να παραμένει στο επιφανειακό στρώμα (στα λίγα επιφανειακά εκατοστά του μέτρου). Ο ρυθμός μετακίνησής του προς τα βαθύτερα στρώματα είναι βραδύς και επηρεάζεται από τα ποσά αργίλλου, διαλυτών αλάτων και χούμου (οργανικής ουσίας) που υπάρχουν στο έδαφος καθώς και από την ταχύτητα μετακίνησης του νερού.

Ανάλογα προσροφάται από τα κολλοειδή και το Καίσιιο-137 το οποίο επιπλέον δεσμεύεται κατά μεγάλο ποσοστό από ορισμένα αργιλλικά συστατικά του εδάφους. Αποτέλεσμα των ιδιοτήτων αυτών είναι ότι και το Καίσιιο-137 μιας ραδιενεργού επίπτωσης συγκρατείται και παραμένει για μεγάλο διάστημα στα πρώτα επιφανειακά εκατοστά του εδάφους, η δε μετακίνησή του προς τα κατώτερα στρώματα εδαφών που δεν έχουν διαταραχτεί είναι πολύ βραδεία, βραδύτερη ίσως και από τη μετακίνηση του Στρόντιου-90.

Έτσι, στις περιπτώσεις που επιδιώκεται απορρύπανση του εδάφους, συνήθως μετακινείται από την επιφάνειά του ένα στρώμα της τάξης των πέντε εκατοστών του μέτρου.



Τρόπος ρυπάνσεως των φυτών (Προέλευση: Αναφορά [2]).

ΣΥΜΕΩΝ ΕΛ. ΣΑΧΙΝΙΔΗΣ  
ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ Π.Σ.Ε.





































