



ΑΠΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΕΝΟ ΟΥΡΑΝΙΟ (DEPLETED URANIUM, DU)

Ερωτήσεις και απαντήσεις για το απεμπλουτισμένο ουράνιο[‡]

1.	Τι είναι το ουράνιο;.....	1
2.	Ποιά είναι τα επίπεδα του ουρανίου στο περιβάλλον;.....	2
3.	Τι είναι το απεμπλουτισμένο ουράνιο (Depleted Uranium, DU);.....	4
4.	Το απεμπλουτισμένο ουράνιο είναι περισσότερο ή λιγότερο ραδιενεργό από το φυσικό ουράνιο;.....	4
5.	Εκτίθεται ο άνθρωπος σε φυσικό ουράνιο;.....	4
6.	Ποιες είναι οι στρατιωτικές χρήσεις του απεμπλουτισμένου ουρανίου;.....	5
7.	Υπάρχουν αναφορές για προσμίξεις στο απεμπλουτισμένο ουράνιο. Τι είναι αυτές οι προσμίξεις;.....	5
8.	Έχουν γίνει μελέτες σε ανθρώπους που έχουν εκτεθεί σε ουράνιο ή απεμπλουτισμένο ουράνιο;.....	6
9.	Πώς συμπεριφέρεται το ουράνιο στο σώμα μας;.....	7
10.	Πώς μπορεί το ουράνιο ή το απεμπλουτισμένο ουράνιο να βλάψει την υγεία μας; Συνδέεται άμεσα το ουράνιο ή το απεμπλουτισμένο ουράνιο με τον καρκίνο στον άνθρωπο;.....	7
11.	Πώς μπορεί το ουράνιο να επηρεάσει τα παιδιά;.....	10
12.	Ποιοι είναι οι πιθανοί τρόποι έκθεσης από βλήματα απεμπλουτισμένου ουρανίου;.....	10
13.	Ποιοι είναι οι κίνδυνοι από το χειρισμό βλημάτων απεμπλουτισμένου ουρανίου;.....	12
14.	Ποιες είναι οι πιθανές επιδράσεις του απεμπλουτισμένου ουρανίου στο περιβάλλον;.....	12
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: Τι είναι η ιονίζουσα ακτινοβολία;.....	15

1. Τι είναι το ουράνιο;

Το ουράνιο (χημικό σύμβολο U) είναι ένα φυσικό ραδιενεργό στοιχείο το οποίο στην καθαρή του μορφή έχει αργυρό χρώμα και είναι ένα βαρύ μέταλλο, όπως είναι ο μόλυβδος, το κάδμιο και το βολφράμιο. Το ουράνιο έχει μεγάλο ειδικό βάρος, περίπου 19 g/cm^3 , δηλαδή είναι 70% πιο βαρύ από το μόλυβδο, και είναι τόσο βαρύ ώστε ένας κύβος με πλευρά 10 cm ζυγίζει περίπου 20 kg.

Το ουράνιο κατατάσσεται στα υλικά με χαμηλή ειδική ραδιενέργεια. Στη φυσική του μορφή, αποτελείται από τρία ισότοπα, U-234, U-235 και U-238. Άλλα ισότοπα του

[‡] Πηγή: Διεθνής Οργανισμός Ατομικής Ενέργειας

ουρανίου, τα οποία δεν υπάρχουν στο φυσικό ουράνιο, είναι τα U-232, U-233, U-236 και U-237. Ο πιο κάτω πίνακας δείχνει την περιεκτικότητα κατά βάρος (w/w) του φυσικού ουρανίου στα τρία ραδιοϊσότοπα, το χρόνο ημιζωής τους και την ειδική ραδιενέργεια τους. Ο χρόνος ημιζωής ενός ραδιοϊσότοπου είναι ο χρόνος που χρειάζεται ώστε η αρχική ραδιενέργεια του να ελαττωθεί στο ήμισυ.

Πίνακας 1: Ραδιοϊσότοπα στο φυσικό ουράνιο

Ισότοπο	% Περιεκτικότητα κατά βάρος, (w/w)	Χρόνος Ημιζωής, χρόνια	Ειδική Ραδιενέργεια Bq/mg
U - 238	99,28	4 510 000 000	12,4
U - 235	0,72	710 000 000	80
U - 234	0,0057	247 000	231 000

Η εκπομπή ραδιενέργειας η οποία οφείλεται αποκλειστικά στη ραδιενεργό διάσπαση των ισωτόπων του ουρανίου που περιέχει το φυσικό ουράνιο (U-234, U-235 και U-238) είναι 25,4 Bq/mg.

Στη φύση, τα ισότοπα του ουρανίου βρίσκονται τυπικά σε ισορροπία με τα προϊόντα της ραδιενεργού διάσπασης τους (δηλαδή η ραδιενέργεια των προϊόντων της ραδιενεργού διάσπασης είναι περίπου ίση με τη ραδιενέργεια του μητρικού ραδιοϊσότοπου του ουρανίου). Τα προϊόντα διάσπασης του U-238 περιλαμβάνουν Θόριο-234 (Th-234), Πρωτακτίνιο-234 (Pa-234), U-234, Th-230, Ράδιο-226 (Ra-226), Ραδόνιο-222 (Rn-222), Πολώνιο-218 (Po-218), Μόλυβδο -214 (Pb-214), Βισμούθιο-214 (Bi-214), Po-214, Pb-210 και Po-210.

Τα προϊόντα διάσπασης του U-235 περιλαμβάνουν Th-231, Pa-231, Ακτίνιο-227 (Ac-227), Th-227, Ra-223, Rn-219, Po-215, Pb-211, Bi-211 και Θάλλιο-207 (Tl-207).

Τα ισότοπα του φυσικού ουρανίου διασπώνται με ταυτόχρονη εκπομπή κυρίως σωματιδίων-α. Η εκπομπή β και γ-ακτινοβολίας είναι πολύ χαμηλή. Ο πιο κάτω πίνακας δείχνει τον μέσο όρο της ενέργειας που εκπέμπεται ανά μετασχηματισμό από τα U-238, U-235 και U-234.

Πίνακας 2: Είδος και επίπεδο ακτινοβολίας (ενέργειας) από το φυσικό ουράνιο

Ισότοπο	Μέσος όρος της ενέργειας που εκπέμπεται ανά μετασχηματισμό, MeV/Bq		
	Σωματίδια-α	Σωματίδια-β	Ακτινοβολία-γ
U - 238	4,26	0,01	0,001
U - 235	4,47	0,048	0,154
U - 234	4,84	0,0013	0,002

2. Ποιά είναι τα επίπεδα του ουρανίου στο περιβάλλον;

Το ουράνιο απαντάται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις (ίχνη) στα πετρώματα και το έδαφος, στο νερό και τον αέρα και σε όλα τα υλικά που αποτελούνται από φυσικά στοιχεία.

Η συγκέντρωση του ουρανίου στους γρανίτες κυμαίνεται από 2-20 ppmw (μέρη στο εκατομμύριο κατά βάρος). Ουράνιο σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις (50–1000 mg/kg εδάφους) μπορεί να απαντάται σε εδάφη με αποθέματα φωσφοριτών.

Στην ατμόσφαιρα το ουράνιο μπορεί να υπάρχει στα αιωρούμενα σωματίδια (σκόνη). Τα πολύ μικρά αιωρούμενα σωματίδια ουρανίου στον αέρα μπορούν να κατακάθονται στο επιφανειακό νερό, στα φυτά και στο έδαφος. Τα σωματίδια αυτά

καταλήγουν στη συνέχεια στο έδαφος ή στο βυθό των λιμνών, ποταμών και δεξαμενών, όπου αναμιγνύονται με το φυσικό ουράνιο που ήδη υπάρχει εκεί. Οι τυπικές συγκεντρώσεις ουρανίου στον αέρα (ατμόσφαιρα) είναι περίπου 2 mBq/m^3 (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) 2000 report).

Το ουράνιο που ανιχνεύεται στο νερό προέρχεται από ουράνιο που διαλύεται από τα πετρώματα και το έδαφος. Τυπικές συγκεντρώσεις U-238 και U-234 σε πόσιμο νερό κυμαίνονται από μερικά δέκατα του mBq/l μέχρι μερικές εκατοντάδες mBq/l , παρόλο που υπάρχουν περιπτώσεις που μετρήθηκαν ψηλότερες συγκεντρώσεις μέχρι 150 Bq/l στη Φινλανδία (UNSCEAR 2000). Οι συγκεντρώσεις του U-235 είναι γενικά πάνω από 20 φορές χαμηλότερες.

Το ουράνιο συγκεντρώνεται στα φυτά από το έδαφος μέσω του ριζικού συστήματος. Οι τυπικές συγκεντρώσεις ισοτόπων του ουρανίου στα λαχανικά είναι ελαφρά ψηλότερες από εκείνες στο πόσιμο νερό. Οι συγκεντρώσεις U-238 που μετρήθηκαν σε σπόρους και φυλλώδη λαχανικά κυμαίνονται μεταξύ $1\text{-}400 \text{ mBq/kg}$ και $6\text{-}2200 \text{ mBq/kg}$ αντίστοιχα, ενώ οι συγκεντρώσεις U-235 είναι 20 φορές χαμηλότερες. Οι συγκεντρώσεις σε ριζώδη λαχανικά είναι γενικά χαμηλότερες.

Το ουράνιο είναι ένα πολύ δραστικό μέταλλο και για το λόγο αυτό δεν απαντάται σε καθαρή μορφή στο περιβάλλον. Πρόσθετα με το φυσικό ουράνιο που υπάρχει στα ορυκτά, το μεταλλικό ουράνιο και οι ενώσεις του που παράγονται βιομηχανικά μπορούν να απελευθερώνονται και να επιστρέφουν στο περιβάλλον.

Το ουράνιο μπορεί να αντιδρά με άλλα στοιχεία στο περιβάλλον για τη δημιουργία ενώσεων του ουρανίου, η διαλυτότητα των οποίων είναι κυμαινόμενη. Το ουράνιο συναντάται στο περιβάλλον με τη μορφή του Οξειδίου του Ουρανίου, τυπικά ως UO_2 , που είναι μια αδιάλυτη ένωση στα ορυκτά και πολλές φορές ως UO_3 , μια μέτρια διαλυτή ένωση που συναντάται στα επιφανειακά νερά. Οι διαλυτές ενώσεις του ουρανίου μπορούν να αντιδρούν με άλλα χημικά στοιχεία και ενώσεις στο περιβάλλον για το σχηματισμό άλλων ενώσεων του ουρανίου. Η χημική μορφή των ενώσεων του ουρανίου καθορίζει το πόσο εύκολα οι ενώσεις αυτές μπορούν να μεταφέρονται στο περιβάλλον και το πόσο τοξικές μπορεί να είναι. Κάποιες μορφές οξειδίων του ουρανίου είναι πολύ αδρανείς και μπορεί να παραμένουν στο έδαφος για χιλιάδες χρόνια χωρίς να μετακινούνται προς τα κάτω στο νερό του υπεδάφους.

Η μέση συγκέντρωση φυσικού ουρανίου στο έδαφος είναι 2 ppmw , που ισοδυναμεί με 2 g ουρανίου ανά 1000 kg εδάφους. Αυτό σημαίνει ότι το επιφανειακό έδαφος μέχρι βάθος 1 m σε ένα τυπικό κήπο διαστάσεων $10 \times 40 \text{ m}$ μπορεί να περιέχει 2 kg ουρανίου, που αντιστοιχεί σε $50\,000\,000 \text{ Bq}$ ραδιενέργειας από τη διάσπαση των ισοτόπων του ουρανίου, αμελώντας τις διαδοχικές διασπάσεις των ισοτόπων της σειράς.

Το ουράνιο που μεταφέρεται στα ζώα μέσω της διατροφής τους με χόρτα και από το έδαφος απομακρύνεται γρήγορα με τα ούρα και τα κόπρανα. Οι συγκεντρώσεις U-238 που μετρήθηκαν στο γάλα και το κρέας σε διάφορες περιοχές του κόσμου, κυμαίνονται μεταξύ $0,1\text{-}17 \text{ mBq/kg}$ και $1\text{-}20 \text{ mBq/kg}$ αντίστοιχα, ενώ οι συγκεντρώσεις U-235 ήταν 20 φορές χαμηλότερες (UNSCEAR 2000).

3. Τι είναι το απεμπλουτισμένο ουράνιο (Depleted Uranium, DU);

Με σκοπό την παραγωγή πυρηνικού καυσίμου για συγκεκριμένους τύπους αντιδραστήρων και πυρηνικών όπλων, το φυσικό ουράνιο πρέπει να εμπλουτιστεί στο ισότοπο U-235, το οποίο χρησιμοποιείται για την πυρηνική σχάση. Κατά τη διεργασία του εμπλουτισμού η συγκέντρωση του U-235 αυξάνεται από τη συγκέντρωση του στο φυσικό ουράνιο (0,72% κατά βάρος) σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις 2-94% κατά βάρος. Στο παραπροϊόν της διεργασίας εμπλουτισμού (μετά την απομάκρυνση του εμπλουτισμένου ουρανού) παραμένουν μικρές συγκεντρώσεις U-235 και U-234. Αυτό το παραπροϊόν της διεργασίας εμπλουτισμού είναι γνωστό ως 'απεμπλουτισμένο ουράνιο' και περιέχει κυρίως U-238. Το απεμπλουτισμένο ουράνιο ορίζεται επίσημα από την Αρμόδια Αρχή Πυρηνικής Ασφάλειας των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (NRC) ως ουράνιο στο οποίο η συγκέντρωση του U-235 είναι μικρότερη από 0,711% κατά βάρος. Οι τυπικές κατά βάρος συγκεντρώσεις των ισωτόπων ουρανού στο **απεμπλουτισμένο ουράνιο είναι: U-238 : 99,8%, U-235 : 0,2% και U-234 : 0,001%.**

Στον πίνακα πιο κάτω δίδονται οι συγκεντρώσεις και η % εκπεμπόμενη ραδιενέργεια για το φυσικό και το απεμπλουτισμένο ουράνιο.

Πίνακας 3: Σύγκριση φυσικού και απεμπλουτισμένου ουρανού

Ισότοπο	Φυσικό Ουράνιο		Απεμπλουτισμένο Ουράνιο	
	% Συγκέντρωση, w/w	% Εκπεμπόμενη Ραδιενέργεια	% Συγκέντρωση, w/w	% Εκπεμπόμενη Ραδιενέργεια
U-238	99,28	48,8	99,8	83,7
U-235	0,72	2,4	0,2	1,1
U-234	0,0057	48,8	0,001	15,2

4. Το απεμπλουτισμένο ουράνιο είναι περισσότερο ή λιγότερο ραδιενεργό από το φυσικό ουράνιο;

Το απεμπλουτισμένο ουράνιο είναι σημαντικά λιγότερο ραδιενεργό από το φυσικό ουράνιο όχι μόνο γιατί περιέχει λιγότερο U-235 και U-234 ανά μονάδα μάζας απ'ότι περιέχει το φυσικό ουράνιο, αλλά και γιατί όλα τα προϊόντα διάσπασης πέρα από το U-234 και Th-231 απομακρύνονται κατά την εκχύλιση και τη χημική επεξεργασία του ουρανού πριν τον εμπλουτισμό του. Η ειδική ραδιενέργεια του ουρανού στο απεμπλουτισμένο ουράνιο είναι 14,8 Bq/mg σε σύγκριση με 25,4 Bq/mg στο φυσικό ουράνιο. Χρειάζεται μεγάλο χρονικό διάστημα μέχρι που τα προϊόντα διάσπασης του ουρανού να φθάσουν σε ραδιενεργό ισορροπία με τα φυσικά ισότοπα (π.χ. χρειάζεται 1 εκατομμύριο χρόνια ώστε το Th-230 να φθάσει σε ισορροπία με το U-234).

5. Εκτίθεται ο άνθρωπος σε φυσικό ουράνιο;

Κάθε άνθρωπος καταπίνει ή εισπνέει κάθε μέρα μικρές ποσότητες φυσικού ουρανού. Υπολογίζεται (UNSCEAR 2000) ότι ο μέσος άνθρωπος καταπίνει 1,3 μg (0,033 Bq) ουρανού την ημέρα, που αντιστοιχεί σε ετήσια κατάποση 11,6 Bq/yr. Έχει επίσης υπολογιστεί ότι ο μέσος άνθρωπος εισπνέει 0,6 μg/yr (15 μB/yr). Τυπικά ο μέσος άνθρωπος λαμβάνει δόση 120 μSv/yr από την κατάποση και εισπνοή προϊόντων διάσπασης του ουρανού, όπως Ra-226, και τα προϊόντα της διάσπασης του στο νερό, Rn-222 στις κατοικίες και Po-210 στον καπνό των τσιγάρων.

Λόγω των διαφορών στη διατροφή, υπάρχει μεγάλη διακύμανση των επιπέδων ουρανίου που καταπίνει ο πληθυσμός διεθνώς. Το ουράνιο εισέρχεται στον ανθρώπινο οργανισμό κυρίως από το πόσιμο νερό. Σε ορισμένα μέρη οι συγκεντρώσεις ουρανίου στο πόσιμο νερό είναι πολύ ψηλές και αυτό έχει ως συνέπεια η πρόσληψη ουρανίου από τον άνθρωπο να οφείλεται κυρίως στο πόσιμο νερό παρά στα τρόφιμα, π.χ. σε ορισμένα μέρη της Φιλανδίας η πρόσληψη ουρανίου φθάνει τα μερικά δέκατα mg/day.

6. Ποιες είναι οι στρατιωτικές χρήσεις του απεμπλουτισμένου ουρανίου;

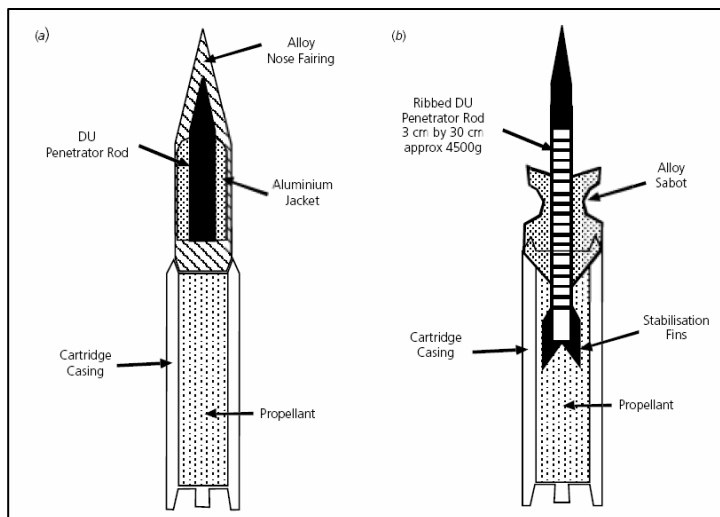
Οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του ουρανίου το καθιστούν πολύ ελκυστικό για στρατιωτική χρήση. Το απεμπλουτισμένο ουράνιο χρησιμοποιείται στην κατασκευή βλημάτων για διάτρηση στρατιωτικών θωρακίσεων, όπως αυτές που έχουν τα άρματα, στην κατασκευή της διατρητικής κεφαλής (κώνου) σε πυραύλους και στην κατασκευή θωράκισης των αρμάτων και άλλων στρατιωτικών οχημάτων. Η

θωράκιση από απεμπλουτισμένο ουράνιο είναι πολύ πιο δύσκολο να διατρηθεί από συμβατικά αντιαρματικά βλήματα σε σύγκριση με τα συνήθη σκληρά φύλλα χάλυβα.

Τα διατρητικά βλήματα είναι γενικά γνωστά ως «διατρητικά κινητικής ενέργειας». Το απεμπλουτισμένο ουράνιο προτιμάται σε σχέση με άλλα μέταλλα, επειδή έχει μεγάλη πυκνότητα, έχει πυροφορικές ιδιότητες (αυτοαναφλέγεται σε θερμοκρασίες 600–700 °C και ψηλές πιέσεις) και γίνεται περισσότερο αιχμηρό με αδιαβατική θλίψη όταν διεισδύει στο κέλυφος του άρματος. Κατά την πρόσκρουση στο στόχο οι διατρητικές κεφαλές από απεμπλουτισμένο ουράνιο αναφλέγονται, θρυμματίζονται σε μικρά κομμάτια (θραύσματα) και δημιουργούν σύννεφα αιωρούμενης σκόνης (αεροζόλης) απεμπλουτισμένου ουρανίου το μέγεθος των οποίων εξαρτάται από τη γωνία πρόσκρουσης, την ταχύτητα του βλήματος και τη θερμοκρασία. Αυτά τα πολύ μικρά σωματίδια μπορεί να αυτοαναφλεγούν στον αέρα. Μικρά κομμάτια απεμπλουτισμένου ουρανίου μπορεί να αναφλεγούν αν βρεθούν μέσα σε φωτιά και να καούν, όμως από διάφορες δοκιμές διαπιστώθηκε ότι μεγαλύτερα κομμάτια, όπως οι διατρητικές κεφαλές των αντιαρματικών βλημάτων, ή τα αντισταθμιστικά βάρη στα αεροπλάνα, συνήθως δεν αναφλέγονται αν βρεθούν μέσα σε φωτιά.

7. Υπάρχουν αναφορές για προσμίξεις στο απεμπλουτισμένο ουράνιο. Τι είναι αυτές οι προσμίξεις;

Οι πιο μεγάλες ποσότητες απεμπλουτισμένου ουρανίου που χρησιμοποιήθηκαν στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής προέρχονται από τις διεργασίες εμπλουτισμού του ουρανίου και προμηθευτές τους ήταν το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ.



Σχήμα 1: Διατρητικά βλήματα με απεμπλουτισμένο ουράνιο

Μεταξύ των ετών 1950-1970, το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ προέβη σε εμπλουτισμό επανεπεξεργασμένου ουρανίου από αναλωθέντα καύσιμα πυρηνικών αντιδραστήρων για την ανάκτηση του U-235 που δεν είχε διασπαστεί. Σε αντίθεση με το φυσικό ουράνιο, το επανεπεξεργασμένο ουράνιο περιέχει ανθρωπογενή (τεχνητά) ραδιοϊσότοπα, περιλαμβανομένων του ισότοπου του ουρανίου U-236, μικρών συγκεντρώσεων υπερουρανίων στοιχείων (στοιχεία βαρύτερα από το ουράνιο, όπως ποσειδώνιο (Np), πλουτώνιο (Pu) και αμερίκιο (Am)) και προϊόντων της σχάσης, όπως τεχνήτιο (Tc-99). Ως αποτέλεσμα, το παραπροϊόν (απεμπλουτισμένο ουράνιο) από τη διεργασία εμπλουτισμού του επανεπεξεργασμένου ουρανίου περιέχει επίσης αυτά τα ανθρωπογενή ραδιοϊσότοπα, σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις (ίχνη). Κατά τον εμπλουτισμό του επανεπεξεργασμένου ουρανίου οι εσωτερικές επιφάνειες του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται καλύπτονται με τα ανθρωπογενή αυτά ραδιοϊσότοπα και επειδή ο ίδιος εξοπλισμός χρησιμοποιήθηκε για τον εμπλουτισμό του φυσικού ουρανίου, τα ανθρωπογενή αυτά ραδιοϊσότοπα μίγαναν και το απεμπλουτισμένο ουράνιο που παρήχθη από τον εμπλουτισμό του φυσικού ουρανίου. Οι ακριβείς ποσότητες δεν είναι γνωστές. Η ραδιοχημική ανάλυση δειγμάτων απεμπλουτισμένου ουρανίου δείχνει ότι οι μικρές αυτές προσμίξεις είναι της τάξης του μέρους στο δισεκατομμύριο (ppbw) και έχουν ως συνέπεια την αύξηση κατά τι λιγότερο από 1% της δόσης από απεμπλουτισμένο ουράνιο. Η Αρμόδια Αρχή Πυρηνικής Ασφάλειας των ΗΠΑ γνώριζε για τις προσμίξεις αυτές στο απεμπλουτισμένο ουράνιο και από τις μελέτες που έκανε κατέληξε στο συμπέρασμα ότι δεν δημιουργούσαν οποιουσδήποτε πρόσθετους κινδύνους και ήταν ασφαλείς.

Η παρουσία U-236 και Pu-239/240 στο απεμπλουτισμένο ουράνιο έχει επιβεβαιωθεί από αναλύσεις βλημάτων που συλλέχθηκαν κατά την αποστολή της UNEP στο Κόσσοβο το Νοέμβριο του 2000. Η ραδιενέργεια του U-236 στα βλήματα αυτά ήταν της τάξης των 60 000 Bq/kg, ενώ η ραδιενέργεια του πλουτωνίου κυμαινόταν από 0,8–12,87 Bq/kg.

8. Έχουν γίνει μελέτες σε ανθρώπους που έχουν εκτεθεί σε ουράνιο ή απεμπλουτισμένο ουράνιο;

Από την αρχή της πυρηνικής εποχής, έχει γίνει εκτεταμένη χρήση ουρανίου, αρχίζοντας από την εξόρυξη του, τον εμπλουτισμό και την κατασκευή πυρηνικών καυσίμων. Στις πιο πάνω δραστηριότητες εργάστηκε μεγάλος αριθμός ατόμων, και έχουν γίνει πολλές μελέτες για την επαγγελματική υγεία όλων αυτών των εργαζομένων.

Ο πρωταρχικός κίνδυνος για τους μεταλλωρύχους, όχι μόνο γι' αυτούς που εργάστηκαν στην εξόρυξη του ουρανίου, οφείλεται στην έκθεση στο αέριο ραδόνιο (κυρίως Rn-222) και στα προϊόντα της ραδιενεργού διάσπασης του. Μελέτη που έγινε για μεταλλωρύχους που εργάστηκαν σε ορυχεία με πτωχό εξαερισμό σε περιόδους που δεν ήταν γνωστοί οι κίνδυνοι από έκθεση στο ραδόνιο και ως εκ τούτου εκτέθηκαν σε ψηλές δόσεις ακτινοβολίας, έδειξε ότι η ομάδα αυτή είχε μεγάλα ποσοστά καρκίνου των πνευμόνων και ότι ο κίνδυνος αυξανόταν με την αύξηση της έκθεσης στο ραδόνιο. Έχουν γίνει επίσης μελέτες για έκθεση σε ουράνιο εργαζομένων στον κύκλο των πυρηνικών καυσίμων. Υπάρχουν αναφορές για αυξημένα περιστατικά καρκίνου, όμως σε αντίθεση με τους μεταλλωρύχους, δεν διαπιστώνεται συσχέτιση με την έκθεση σε ραδιενέργεια. Τα κύρια ευρήματα των μελετών αυτών ήταν ότι η υγεία των εργαζομένων αυτών ήταν καλύτερη από την υγεία του μέσου πληθυσμού. Αυτή η διαπίστωση πιστεύεται ότι οφείλεται στη διαδικασία επιλογής για εργοδότηση και των συνολικών ωφελημάτων για εργασία στον τομέα αυτό.

Αναφορικά με την έκθεση σε απεμπλουτισμένο ουράνιο, έχουν γίνει μελέτες για την υγεία στρατιωτικού προσωπικού που πήρε μέρος στον πόλεμο του Κόλπου (1990 – 1991) και κατά τη διάρκεια των πολεμικών επιχειρήσεων στα Βαλκάνια (1994 – 1999). Μικρός αριθμός βετεράνων του πολέμου στον Κόλπο έχει θραύσματα απεμπλουτισμένου ουρανού στο σώμα, τα οποία δεν μπορούν να χειρουργηθούν και αποτέλεσαν αντικείμενο εκτεταμένης μελέτης τα αποτελέσματα της οποίας έχουν δημοσιευτεί.

Οι βετεράνοι αυτοί είχαν ψηλά επίπεδα απεμπλουτισμένου ουρανού στα ούρα, αλλά μέχρι στιγμής δεν έχουν παρατηρηθεί συμπτώματα στην υγεία τους λόγω του απεμπλουτισμένου ουρανού. Έχουν γίνει επίσης επιδημιολογικές μελέτες για την υγεία στρατιωτικού προσωπικού που ενεπλάκη σε συρράξεις όπου χρησιμοποιήθηκε απεμπλουτισμένο ουράνιο, σε σύγκριση με την υγεία προσωπικού που δεν ήταν στις πολεμικές ζώνες. Τα αποτελέσματα των μελετών αυτών έχουν δημοσιευτεί και το κύριο συμπέρασμα είναι ότι οι βετεράνοι του πολέμου στον Κόλπο δείχνουν μικρή (στατιστικά ασήμαντη) αύξηση στο ρυθμό θνησιμότητας, όμως αυτή η αύξηση οφείλεται μάλλον σε ατυχήματα παρά σε ασθένειες και δεν μπορεί να αποδοθεί σε έκθεση στο απεμπλουτισμένο ουράνιο.

9. Πώς συμπεριφέρεται το ουράνιο στο σώμα μας;

Το ουράνιο εισέρχεται στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω του πεπτικού συστήματος με τις τροφές και το νερό και μέσω του αναπνευστικού συστήματος με την εισπνοή του αέρα.

Κατά την εισπνοή, το ουράνιο είναι προσκολλημένο σε σωματίδια διαφόρων μεγεθών. Το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων (αεροζόλς) ουρανού και η διαλυτότητα των ενώσεων του ουρανού στους πνεύμονες και στο στομάχι καθορίζουν τη μεταφορά του ουρανού στα διάφορα όργανα του σώματος.

Τα μεγάλα σωματίδια κατακρατούνται στο ανώτερο μέρος του αναπνευστικού συστήματος (μύτη, τραχεία) από όπου εκπνέονται ή καταπίνονται μέσω του φάρυγγα. Τα πολύ λεπτόκοκκα σωματίδια εισέρχονται στο κατώτερο μέρος του αναπνευστικού συστήματος, στους πνεύμονες (βρόγχοι, κυψελίδες). Αν οι ενώσεις του ουρανού δεν είναι εύκολα διαλυτές, τα σωματίδια ουρανού τείνουν να παραμένουν στους πνεύμονες για μεγάλα χρονικά διαστήματα (μέχρι και 16 χρόνια), εκθέτοντας τους πνεύμονες σε ακτινοβολία. Σταδιακά διαλύονται και μεταφέρονται στο αίμα. Οι πιο διαλυτές ενώσεις του ουρανού απορροφούνται και μεταφέρονται πιο γρήγορα από τους πνεύμονες στο αίμα. Περίπου 10% του αρχικού ουρανού συγκεντρώνεται στους νεφρούς.

Το μεγαλύτερο ποσοστό του ουρανού που εισέρχεται στο σώμα μέσω της πεπτικής οδού απομακρύνεται με τα κόπρανα μέσα σε μερικές ημέρες και δεν φθάνει στο αίμα. Το υπόλοιπο ποσοστό μεταφέρεται στο αίμα. Το περισσότερο ουράνιο στο αίμα απομακρύνεται με τα ούρα μέσα σε μερικές ημέρες, όμως μικρό ποσοστό παραμένει στους νεφρούς, στα οστά και σε άλλους μαλακούς ιστούς.

10. Πώς μπορεί το ουράνιο ή το απεμπλουτισμένο ουράνιο να βλάψει την υγεία μας; Συνδέεται άμεσα το ουράνιο ή το απεμπλουτισμένο ουράνιο με τον καρκίνο στον άνθρωπο;

Το ουράνιο όταν εισπνέεται ή καταπίνεται σε σημαντικές ποσότητες μπορεί να προκαλεί βλάβες στην ανθρώπινη υγεία λόγω της χημικής τοξικότητάς του. Όπως ο

υδράργυρος, το κάδμιο και άλλα βαριά μέταλλα, έτσι και το ουράνιο σε υπερβολικές συγκεντρώσεις (ιόντα ουρανίου) μπορεί να επηρεάσουν τη λειτουργία των νεφρών. Ψηλές συγκεντρώσεις ουρανίου στους νεφρούς μπορεί να βλάψουν και σε ακραίες περιπτώσεις να καταστρέψουν πλήρως τη λειτουργία των νεφρών.

Υπάρχει γενικά σύμπτωση απόψεων στην ιατρική και την επιστημονική κοινότητα ότι σε ψηλές συγκεντρώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό το ουράνιο είναι πιθανό να καθίσταται χημικά τοξικό προτού αυτό καταστεί ακτινολογικό πρόβλημα (έκθεση σε ακτινοβολία).

Δεδομένου ότι το ουράνιο θεωρείται ελαφρά ραδιενεργό όταν εισέρχεται στον ανθρώπινο οργανισμό ακτινοβολεί τα διάφορα όργανα, όμως η κύρια επίδραση στην ανθρώπινη υγεία συνδέεται με την τοξική χημική επίδραση που έχει στις διάφορες λειτουργίες του σώματος.

Σε πολλές χώρες, το μέγιστο αποδεκτό όριο έκθεσης κατά την εργασία σε διαλυτές ενώσεις του ουρανίου είναι 3μg/g νεφρικού ιστού. Οποιοσδήποτε επιδράσεις λόγω έκθεσης των νεφρών σε μικρότερες συγκεντρώσεις θεωρούνται αμελητέες και πρόσκαιρες. Τα μέτρα που λαμβάνονται σήμερα, με βάση και το πιο πάνω όριο φαίνεται ότι είναι ικανοποιητικά για την προστασία των εργαζομένων στη βιομηχανία ουρανίου. Με βάση την ισχύουσα νομοθεσία και με σκοπό την αποφυγή υπερβάσεων του πιο πάνω ορίου στους νεφρούς, το μακροπρόθεσμο (8h) όριο συγκέντρωσης διαλυτού ουρανίου στον αέρα στους χώρους εργασίας είναι 0,2 mg/m³ και το βραχυπρόθεσμο (15 min) όριο είναι 0,6 mg/m³.

Όπως συμβαίνει με όλα τα ραδιενεργά υλικά, η έκθεση σε ακτινοβολία που εκπέμπεται από φυσικό ή απεμπλουτισμένο ουράνιο εγκυμονεί κινδύνους ανάπτυξης καρκίνου. Η Διεθνής Επιτροπή Ακτινοπροστασίας (ICRP) έχει προτείνει όρια έκθεσης σε ιονίζουσα ακτινοβολία τα οποία έχουν υιοθετηθεί στα πρότυπα ακτινοπροστασίας του Διεθνούς Οργανισμού Ατομικής Ενέργειας (ΔΟΑΕ) (και στις σχετικές Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και στην ισχύουσα νομοθεσία της Κύπρου). Η ετήσια ενεργός δόση για το κοινό δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1 mSv, ενώ για τους εργαζομένους η μέση επιτρεπόμενη δόση είναι 20 mSv (100 mSv συνολικά για πέντε συνεχόμενα χρόνια, 50 mSv μέγιστη ενεργός δόση μέσα σε ένα χρόνο). Ο πρόσθετος κίνδυνος (πιθανότητα) ανάπτυξης θανατηφόρου καρκίνου λόγω έκθεσης σε 1 mSv υπολογίζεται σε 1 στις 20000. Η αύξηση αυτή του κινδύνου θεωρείται ασήμαντη συγκρινόμενη με τον κίνδυνο να αναπτύξει θανατηφόρο καρκίνο ολος ο πληθυσμός που υπολογίζεται σε 1 στους 5.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο καρκίνος μπορεί να εκδηλωθεί αρκετά χρόνια μετά την έκθεση σε ακτινοβολία.

Είναι εφικτό να υπολογιστεί η έκθεση ενός ατόμου σε απεμπλουτισμένο ουράνιο πριν υπάρξει υπέρβαση των πιο πάνω ορίων χημικής και ραδιολογικής έκθεσης. Στον πιο κάτω πίνακα φαίνεται πόσο απεμπλουτισμένο ουράνιο θα πρέπει να εισπνεύσει ή να καταπιεί κάποιος ώστε η συγκέντρωση του στους νεφρούς να υπερβεί τα 3 μg/g νεφρικού ιστού (όριο χημικής τοξικότητας) ή την ενεργό δόση 1 mSv (όριο ετήσιας έκθεσης σε ιονίζουσα ακτινοβολία για το κοινό). Οι τιμές στον πίνακα υπολογίστηκαν με βάση τα βιοκινητικά μοντέλλα που εισηγείται σήμερα η Διεθνής Επιτροπή Ακτινοπροστασίας (ICRP). Οι υπολογισμοί έχουν γίνει για δύο τύπους ενώσεων ουρανίου:

- (α) ενώσεις μέτρια διαλυτές, όπως UO₃ και U₃O₈
- (β) αδιάλυτες ενώσεις, όπως UO₂ (ενώσεις αναφοράς).

Πίνακας 4: Ποσότητα ουρανίου που εισέρχεται στον ανθρώπινο οργανισμό και υπέρβαση του ορίου για χημική τοξικότητα στους νεφρούς ή του ορίου δόσης ακτινοβολίας για το κοινό

Τρόπος εισόδου του απεμπλουτισμένου ουρανίου στον ανθρώπινο οργανισμό	Πρόσληψη (εισερχόμενη ποσότητα στο σώμα) ουρανίου που αναμένεται να έχει ως αποτέλεσμα			
	Συγκέντρωση ουρανίου στους νεφρούς 3μg/g νεφρικού ιστού		Ενεργό δόση 1 mSv	
	Μάζα, mg	Ραδιενέργεια Bq	Μάζα, mg	Ραδιενέργεια Bq
Εισπνοή μέτρια διαλυτού αεροζόλ	230	3 400	32	480
Εισπνοή αδιάλυτου αεροζόλ	7 400	110 000	11	160
Κατάποση μέτρια διαλυτής ένωσης	400	5 900	1 500	22 000
Κατάποση αδιάλυτης ένωσης	4 000	59 000	8 800	130 000

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι απαιτούμενες ποσότητες για να υπάρξει συγκέντρωση στους νεφρούς 3 μg/g νεφρικού ιστού είναι μεγαλύτερες αν η πρόσληψη γίνεται σταδιακά και εντός μεγαλύτερου χρονικού διαστήματος, γιατί τότε δίδεται περισσότερος χρόνος στους νεφρούς να αποβάλουν το απεμπλουτισμένο ουράνιο. Από τον πίνακα φαίνεται ότι στην περίπτωση της κατάποσης απεμπλουτισμένου ουρανίου το όριο χημικής τοξικότητας στα νεφρά των 3 μg/g νεφρικού ιστού υπερβαίνεται με μικρότερη δόση (έκθεση σε ακτινοβολία) σε σύγκριση με το όριο έκθεσης σε ακτινοβολία (για το κοινό) 1 mSv/yr. Στην περίπτωση εισπνοής απεμπλουτισμένου ουρανίου (αεροζόλ) συμβαίνει το αντίθετο.

Πέρα από τον κίνδυνο λόγω ακτινοβολίας των ραδιοϊσοτόπων του ουρανίου, υπάρχει επίσης δυνητικός κίνδυνος που συνδέεται με τα ραδιοϊσότοπα που σχηματίζονται κατά τη ραδιενεργό διάσπαση των ισοτόπων του ουρανίου τα οποία μπορεί να ανιχνευθούν στα τρόφιμα ή στον αέρα που εισπνέεται. Οι τιμές στον πιο πάνω πίνακα υπολογίστηκαν λαμβάνοντας υπόψη τη συσσώρευση των ραδιοϊσοτόπων αυτών μέσα στο σώμα, αλλά δεν περιλαμβάνουν τη συμβολή των ισοτόπων αυτών στα τρόφιμα και τον εισπνεόμενο αέρα.

Άλλος κίνδυνος για βλαβερές επιδράσεις στην υγεία είναι η εξωτερική έκθεση σε ακτινοβολία που εκπέμπουν τα ισότοπα του ουρανίου. Τα ισότοπα του ουρανίου εκπέμπουν κυρίως σωματίδια-α (πυρήνες ηλίου). Η απόσταση που μπορούν να διανύουν τα σωματίδια-α στον αέρα είναι της τάξης των λίγων cm, και σε σχέση με τους ιστούς δύσκολα διαπερνούν το εξωτερικό (νεκρό) στρώμα του δέρματος. Για σύγκριση αναφέρεται ότι τα σωματίδια-β (ηλεκτρόνια) μπορούν να διεισδύουν μέχρι περίπου 1 cm ιστού, ενώ η ακτινοβολία – γ (φωτόνια υψηλής ενέργειας) μπορούν να διαπερνούν το σώμα. Ως εκ τούτου, ο κίνδυνος από την εξωτερική έκθεση σε ακτινοβολία των ισοτόπων ουρανίου είναι πολύ μικρός, εκτός αν το ουράνιο εισέρχεται άμεσα στο σώμα (π.χ. πληγές). Επιπλέον, τα σωματίδια-α δεν μπορούν να διανύσουν μεγάλες αποστάσεις από την πηγή τους και συνεπώς κάποιος μπορεί να εκτεθεί μόνο αν είναι σε άμεση επαφή με τα ισότοπα του ουρανίου. Αυτό βέβαια δεν συμβαίνει για το φυσικό ουράνιο, όπου τα άτομα εκτίθενται στις πιο διεισδυτικές ακτινοβολίες-β και γ που εκπέμπουν τα προϊόντα διάσπασης του ουρανίου, τα οποία είναι σε ραδιενεργό ισορροπία με τα ισότοπα του ουρανίου. Στην περίπτωση του απεμπλουτισμένου ουρανίου, τα μόνα ισότοπα που είναι παρόντα και εκπέμπουν κυρίως ακτινοβολία-β είναι το Th-234, το Pa-234 m και το Th-231, τα οποία εκπέμπουν πολύ ελάχιστη ακτινοβολία-γ, και συνεπώς ο κίνδυνος έκθεσης από

απεμπλουτισμένο ουράνιο είναι πολύ μικρότερος παρά στην περίπτωση του φυσικού ουρανίου.

Υπάρχουν μελέτες εργαζομένων που εκτέθηκαν σε ουράνιο και παρόλο που μερικοί από αυτούς εκτέθηκαν σε μεγάλες ποσότητες ουρανίου, δεν υπάρχει ένδειξη για καρκινογένεσις από φυσικό ή απεμπλουτισμένο ουράνιο. Ακόμη, τέτοιες ενδείξεις δεν υπάρχουν ούτε για καρκίνο των πνευμόνων μετά από εισπνοή ουρανίου.

Για σκοπούς προστασίας, εκτίμησης του κινδύνου και καθορισμού ορίων έκθεσης, το απεμπλουτισμένο ουράνιο θεωρείται δυνητικά καρκινογόνο, όμως η απουσία αποδείξεων στις μελέτες που έγιναν τόσες δεκαετίες ότι αποτελεί βέβαιο παράγοντα καρκινογένεσης είναι ένα σημαντικό στοιχείο που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

11. Πώς μπορεί το ουράνιο να επηρεάσει τα παιδιά;

Όπως συμβαίνει και με τους ενήλικες, τα παιδιά εκτίθενται σε μικρές ποσότητες ουρανίου στον αέρα, τα τρόφιμα και το πόσιμο νερό. Παρόλα αυτά δεν έχουν αναφερθεί περιπτώσεις στις οποίες η έκθεση σε ουράνιο να είχε επιπτώσεις στην υγεία παιδιών. Δεν είναι γνωστό κατά πόσο τα παιδιά διαφέρουν από τους ενήλικες σε ότι αφορά την ευαισθησία για επιδράσεις στην υγεία μετά από έκθεση σε ουράνιο. Πειραματικά έχει διαπιστωθεί ότι νεαρά πειραματόζωα απορροφούν περισσότερο ουράνιο στο αίμα τους σε σύγκριση με γηραιότερα πειραματόζωα όταν τους δίδεται τροφή ή νερό με ουράνιο.

Δεν είναι γνωστό κατά πόσο το ουράνιο έχει επιδράσεις στην ανάπτυξη του ανθρώπινου εμβρύου. Υπάρχουν ερευνητικές μελέτες για γενετικές επιδράσεις και αυξημένους θανάτους εμβρύων σε ζώα στα οποία δίδονταν με το νερό ψηλές δόσεις ουρανίου. Σε πειράματα με έγκυα πειραματόζωα, μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό (0,03%) του ουρανίου που δόθηκε έφθασε στο έμβρυο. Ακόμη λιγότερο ουράνιο είναι πιθανό να φθάσει στο έμβρυο σε μητέρες που εισπνέουν ή καταπίνουν ουράνιο. Δεν υπάρχουν δεδομένα μετρήσεων ουρανίου στο γάλα γαλουχουσών μητέρων. Λόγω των χημικών ιδιοτήτων του είναι πολύ πιθανό το ουράνιο να συγκεντρώνεται στο γάλα της γαλουχούσας μητέρας.

Οι επιδράσεις του ουρανίου στο αναπαραγωγικό σύστημα δεν είναι γνωστές. Πολύ ψηλές δόσεις ουρανίου είχαν ως αποτέλεσμα τη μείωση του αριθμού των σπερματοζωαρίων σε μερικές περιπτώσεις πειραμάτων με ζώα στο εργαστήριο, όμως η πλειοψηφία των μελετών δεν έχουν δείξει οποιαδήποτε επίδραση.

12. Ποιοι είναι οι πιθανοί τρόποι έκθεσης από βλήματα απεμπλουτισμένου ουρανίου;

Ο μεγαλύτερος κίνδυνος που συνδέεται με τα βλήματα απεμπλουτισμένου ουρανίου είναι η εισπνοή σκόνης (αεροζόλης) που δημιουργείται όταν το βλήμα απεμπλουτισμένου ουρανίου προσκρούει στο θωρακισμένο στόχο. Το μέγεθος, η κατανομή και η χημική σύσταση των σωματιδίων που απελευθερώνονται με την πρόσκρουση κυμαίνονται κατά περίπτωση, όμως το ποσοστό των μικρών σωματιδίων (αεροζόλης), τα οποία μπορούν να εισέλθουν εύκολα στους πνεύμονες, είναι πιθανό σε ορισμένες περιπτώσεις να φθάσει μέχρι και 96%.

Μια τυπική σύσταση αυτών των σωματιδίων είναι περίπου 60% U_3O_8 , 20% UO_2 και περίπου 20% άλλα άμορφα οξειδία. Τόσο το U_3O_8 όσο και το UO_2 είναι αδιάλυτες ενώσεις. Τα άτομα που είναι πιθανό να εκτίθενται στις μεγαλύτερες δόσεις από

βλήματα απεμπλουτισμένου ουρανίου είναι συνεπώς εκείνα που βρίσκονται κοντά στο στόχο κατά την πρόσκρουση (έκρηξη) ή εκείνα που εξετάζουν μετά την έκρηξη το στόχο ή εισέρχονται στο στόχο (άρματα μάχης).

Ένας πιθανός τρόπος έκθεσης ατόμων που επισκέπτονται ή κατοικούν σε περιοχές που έχουν επηρεαστεί από απεμπλουτισμένο ουράνιο μετά την κατακάθιση της σκόνης είναι η εισπνοή σωματιδίων απεμπλουτισμένου ουρανίου από το έδαφος τα οποία αιωρούνται ξανά στην ατμόσφαιρα λόγω του ανέμου ή των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Ο κίνδυνος στην περίπτωση αυτή είναι μικρότερος, επειδή τα επαναιωρημένα σωματίδια ουρανίου συνενώνονται με άλλες ουσίες και αυξάνουν σε μέγεθος με συνέπεια μικρότερο ποσοστό του εισπνεόμενου ουρανίου να φθάνει στα βαθύτερα μέρη των πνευμόνων και τις κυψελίδες. Άλλος πιθανός τρόπος έκθεσης είναι η ακούσια ή σκόπιμη κατάποση χύματος, π.χ. οι γεωργοί που εργάζονται σε περιοχές όπου έχουν εκραγεί βλήματα απεμπλουτισμένου ουρανίου είναι πιθανό να καταπίνουν ακούσια μικρές ποσότητες χύματος, ενώ τα παιδιά πολλές φορές βάζουν σκόπιμα στο στόμα τους χύματα.

Μακροπρόθεσμα, ο πιο σημαντικός τρόπος έκθεσης σε απεμπλουτισμένο ουράνιο είναι η κατάποση (μέσω του πεπτικού συστήματος) του απεμπλουτισμένου ουρανίου που μεταφέρεται στο πόσιμο νερό και στην τροφική αλυσίδα με τη διάχυση στο έδαφος ή την εναπόθεση στα φυτά. Ο κίνδυνος από την κατανάλωση τροφής και πόσιμου νερού είναι γενικά χαμηλός, επειδή το ουράνιο δεν μεταφέρεται εύκολα μέσα στην τροφική αλυσίδα.

Έχει επίσης υπολογιστεί ότι ένα μεγάλο ποσοστό από τα βλήματα απεμπλουτισμένου ουρανίου που εκτοξεύουν τα πολεμικά αεροπλάνα δεν βρίσκουν το στόχο. Η πλειοψηφία των βλημάτων αυτών εισέρχεται στο έδαφος, κοντά στο στόχο. Η φυσική κατάσταση των βλημάτων αυτών ποικίλλει και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους και μπορεί να είναι μικρά μεταλλικά τμήματα μέχρι και ανέπαφα βλήματα.

Άτομα που θα βρουν και θα χρησιμοποιήσουν τα βλήματα ή τα θραύσματα αυτά μπορεί να εκτεθούν σε εξωτερική ακτινοβολία που εκπέμπει το απεμπλουτισμένο ουράνιο π.χ. ένας αγρότης που καλλιεργεί το χωράφι του σε κάποιο χρόνο μετά τις εχθροπραξίες μπορεί να βρει θραύσματα ή ανέπαφα βλήματα.

Λόγω του είδους της ακτινοβολίας που εκπέμπει το απεμπλουτισμένο ουράνιο, η δόση που θα δεχθεί θα ήταν σημαντική μόνο αν το άτομο αυτό έρθει σε άμεση επαφή και για αρκετό χρόνο με τα βλήματα/θραύσματα απεμπλουτισμένου ουρανίου. Επιπλέον, τα άτομα αυτά με τη χρησιμοποίηση των βλημάτων/θραυσμάτων μπορεί να καταπιούν ακούσια (πχ. επαφή των χεριών με την τροφή) μέρος των ελεύθερων οξειδίων του ουρανίου που σχηματίζονται λόγω των καιρικών συνθηκών στην επιφάνεια του μετάλλου.

Με την πάροδο του χρόνου, λόγω των συνθηκών τα μεταλλικά βλήματα/θραύσματα απεμπλουτισμένου ουρανίου οξειδώνονται και τα οξείδια διασπείρονται στο έδαφος. Το απεμπλουτισμένο ουράνιο στο έδαφος βρίσκεται σε οξειδωμένη μορφή, είναι διαλυτό χημικά και διαχέεται στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, από όπου μπορεί να μπαίνει στην τροφική αλυσίδα, και να καταναλώνεται στη συνέχεια από τον άνθρωπο. Είναι δύσκολο να προβλεφθεί ο χρόνος που χρειάζεται μέχρι να εκτεθεί ο πληθυσμός σε απεμπλουτισμένο ουράνιο με τον τρόπο αυτό, όμως είναι λογικό να γίνει η παραδοχή ότι χρειάζονται μερικά χρόνια προτού ανιχνευθούν σημαντικά επίπεδα απεμπλουτισμένου ουρανίου στο νερό και στα τρόφιμα.

13. Ποιοι είναι οι κίνδυνοι από το χειρισμό βλημάτων απεμπλουτισμένου ουρανίου;

Ο ρυθμός δόσης κατά την επαφή με βλήματα/θραύσματα απεμπλουτισμένου ουρανίου είναι περίπου 2 mSv/h (δηλαδή αν κάποιος κρατά με το χέρι το βλήμα για δύο συνεχείς ώρες η παλάμη του θα δεχθεί δόση ακτινοβολίας 2 mSv) , κυρίως λόγω διασπάσεων β-ακτινοβολίας της σειράς του απεμπλουτισμένου ουρανίου. Με αυτό το ρυθμό δόσης είναι απίθανο να προκληθούν εγκαύματα (ερύθημα) ή άλλες άμεσες επιδράσεις από παρατεταμένη επαφή με βλήματα απεμπλουτισμένου ουρανίου. Όμως, η δόση ακτινοβολίας από το χειρισμό και την επαφή με βλήματα/θραύσματα απεμπλουτισμένου ουρανίου που μπορεί να δεχθεί κάποιος είναι τέτοια που απαιτείται να ελαχιστοποιείται ο χρόνος χειρισμού και να χρησιμοποιείται προστατευτικός εξοπλισμός (γάντια) ώστε η δόση αυτή να ελαχιστοποιείται. Γι' αυτό, είναι απαραίτητο να γίνονται εκστρατείες διαφώτισης του πληθυσμού, ώστε το κοινό να αποφεύγει την επαφή με βλήματα/θραύσματα απεμπλουτισμένου ουρανίου. Αυτό πρέπει να είναι μέρος κάθε εκτίμησης του κινδύνου και για την εφαρμογή μέτρων προστασίας πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο σκοπός των μέτρων και ο αριθμός των βλημάτων που χρησιμοποιήθηκαν σε μια περιοχή.

14. Ποιες είναι οι πιθανές επιδράσεις του απεμπλουτισμένου ουρανίου στο περιβάλλον;

Οι πιθανές επιδράσεις του απεμπλουτισμένου ουρανίου στο περιβάλλον εξαρτώνται από τις ειδικές συνθήκες όπου έγινε χρήση βλημάτων απεμπλουτισμένου ουρανίου και από τα φυσικά, χημικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος που επηρεάζεται.

Όμως, μπορούν να γίνουν μερικές γενικές παρατηρήσεις. Μελέτες που έχουν γίνει σε επίπεδο δοκιμών έχουν δείξει ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των αεροζόλς που δημιουργούνται κατά την πρόσκρουση του βλήματος σε θωρακισμένο στόχο και την έκρηξη κατακάθονται μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα (μερικά λεπτά) μετά την πρόσκρουση στην κοντινή περιοχή γύρω από το στόχο, παρόλο που μικρότερα σωματίδια μπορεί να μεταφέρονται από τον άνεμο σε μακρύτερες αποστάσεις (μερικές εκατοντάδες μέτρα).

Μετά την κατακάθιση τους στο έδαφος τα σωματίδια απεμπλουτισμένου ουρανίου συνενώνονται με άλλα υλικά και αυξάνουν σε μέγεθος, με αποτέλεσμα ο κίνδυνος εισπνοής τους να γίνεται μικρότερος. Ο κίνδυνος για την εισπνοή συνδέεται με το υλικό που επαναφέρεται (αιωρείται ξανά) στην ατμόσφαιρα από το έδαφος με τη δράση του ανέμου ή δραστηριοτήτων του ανθρώπου, όπως π.χ. η καλλιέργεια του εδάφους.

Με την πάροδο του χρόνου οι συγκεντρώσεις απεμπλουτισμένου ουρανίου στην επιφάνεια του εδάφους μειώνονται λόγω του ανέμου και της βροχής που μεταφέρουν το απεμπλουτισμένο ουράνιο μακρύτερα ή το ξεπλένουν στο έδαφος. Ως εκ τούτου, ο κίνδυνος εισπνοής σκόνης απεμπλουτισμένου ουρανίου που επαναιωρείται στην ατμόσφαιρα μειώνεται με την πάροδο τη χρόνου.

Το απεμπλουτισμένο ουράνιο στο έδαφος μπορεί να μεταφέρεται στα επιφανειακά, στα υπόγεια και στα ρέοντα νερά. Τα φυτά μπορούν επίσης να απορροφήσουν απεμπλουτισμένο ουράνιο από το έδαφος και τα νερά. Ένα μικρό μέρος του απεμπλουτισμένου ουρανίου που ανιχνεύεται στη βλάστηση και στο νερό προέρχεται από την άμεση κατακάθιση στην επιφάνεια του νερού. Η χημική και

φυσική σύνθεση του εδάφους καθορίζει την διαλυτότητα και την κινητικότητα των σωματιδίων του απεμπλουτισμένου ουρανίου. Το απεμπλουτισμένο ουράνιο στο νερό και στη βλάστηση μεταφέρεται στα ζώα μέσω της διατροφής με χόρτα και της κατάποσης νερού και χώματος. Μελέτες έχουν δείξει ότι η βιοσυσσώρευση ουρανίου στα φυτά και τα ζώα είναι πολύ μικρή και έτσι συμπεραίνεται ότι το ουράνιο ουσιαστικά δεν μεταφέρεται στην τροφική αλυσίδα.

Το απεμπλουτισμένο ουράνιο στο έδαφος βρίσκεται σε οξειδωμένη και διαλυτή χημική μορφή και μεταναστεύει στα επιφανειακά και υπόγεια νερά και εισέρχεται στην τροφική αλυσίδα. Είναι δύσκολο να προβλεφθεί πόσος χρόνος χρειάζεται για να συμβεί αυτό. Ως αποτέλεσμα των συνθηκών, τα βλήματα απεμπλουτισμένου ουρανίου στο έδαφος σιγά-σιγά οξειδώνονται και παράγονται οξείδια του ουρανίου. Τα ειδικά χαρακτηριστικά του εδάφους καθορίζουν το ρυθμό και τη χημική μορφή της οξειδωσης καθώς και το ρυθμό μετακίνησης και τη διαλυτότητα του ουρανίου. Οι διεργασίες αυτές μπορούν να οδηγήσουν μακροπρόθεσμα (σε μερικά χρόνια) σε αυξημένα επίπεδα απεμπλουτισμένου ουρανίου στα επιφανειακά και υπόγεια νερά.

Η κατανάλωση νερού και τροφής μπορεί να οδηγήσει μακροπρόθεσμα στην είσοδο απεμπλουτισμένου ουρανίου στον ανθρώπινο οργανισμό. Ως εκ τούτου, η παρακολούθηση των επιπέδων ραδιενέργειας στους υδάτινους πόρους είναι χρήσιμη για την εκτίμηση της πιθανής πρόσληψης ουρανίου μέσω του πεπτικού συστήματος. Σε περιπτώσεις υπέρβασης των αποδεκτών ορίων, μπορεί να γίνεται επεξεργασία με διήθηση/ιονεναλλαγή του νερού για τη μείωση των επιπέδων απεμπλουτισμένου ουρανίου.

Ιονίζουσα ακτινοβολία

Στον **περί Προστασίας από Ιονίζουσες Ακτινοβολίες Νόμο του 2002** δίδεται ο πιο κάτω ορισμός:

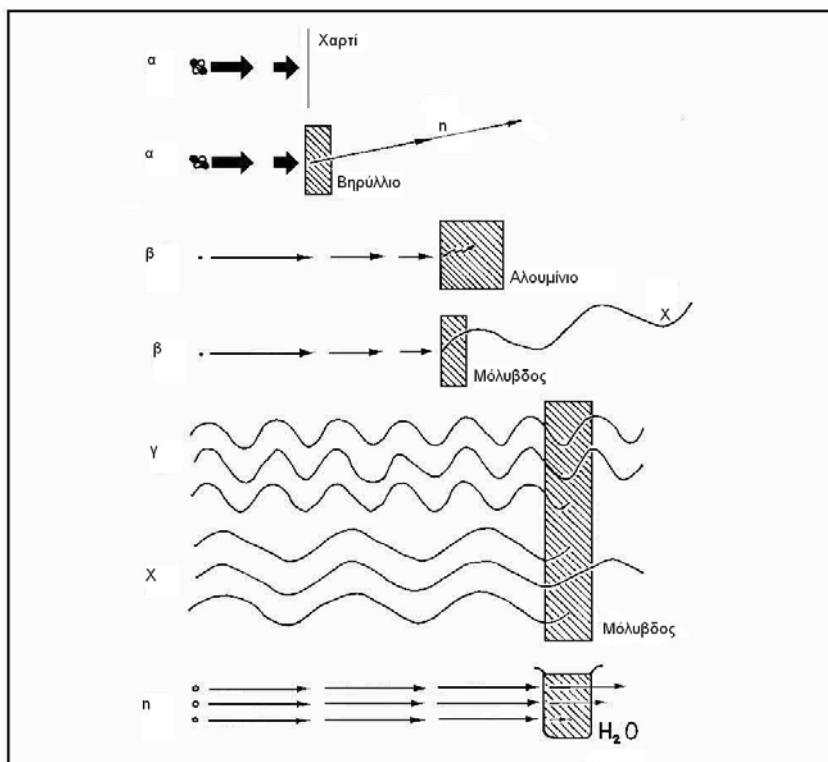
Ιονίζουσα ακτινοβολία σημαίνει οποιαδήποτε μορφή ηλεκτρομαγνητικής ή σωματιδιακής ακτινοβολίας που μεταφέρει ενέργεια και έχει μήκος κύματος το πολύ ίσο με 100 nm ή συχνότητα τουλάχιστο 3×10^{15} Hz και μπορεί να προκαλέσει άμεσο ή έμμεσο ιονισμό κατά τη διέλευσή της μέσα από την ύλη και περιλαμβάνει μεταξύ άλλων μορφών ιονίζουσας ακτινοβολίας, **τα σωματίδια-α, τα σωματίδια-β, τα νετρόνια (n), τις ακτίνες-γ και τις ακτίνες-Χ.**

Σωματίδια-α

Είναι θετικά φορτισμένα σωματίδια, ταυτόσημα με πυρήνες ηλίου (He^{++} , δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια) και προκαλούν έντονο ιονισμό στη διαδρομή τους. Γενικά μπορούν να αποκοπούν με ένα λεπτό φύλλο χαρτιού και δεν μπορούν να περάσουν το εξωτερικό (νεκρό) στρώμα του δέρματος. Όμως, τα σωματίδια-α μπορεί να είναι πολύ επικίνδυνα αν εισέλθουν στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω του αναπνευστικού ή του πεπτικού συστήματος.

Σωματίδια-β

Είναι ηλεκτρόνια με ψηλή ενέργεια και προκαλούν λιγότερο ιονισμό. Είναι πολύ μικρότερα από τα σωματίδια-α, όμως είναι πιο διεισδυτικά και μπορούν να διανύουν μερικά χιλιοστά (mm) μέσα στο δέρμα. Τα σωματίδια-β μπορούν να αποκοπούν από ένα λεπτό φύλλο αλουμινίου.



Σχήμα 2: Είδος ιονίζουσας ακτινοβολίας και διεισδυτικότητα

Ακτινοβολία-γ

Είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (φωτόνια) πολύ ψηλής ενέργειας και πολύ μικρού μήκους κύματος. Αφού δεν έχει φορτίο ούτε μάζα, η ακτινοβολία-γ είναι πολύ διεισδυτική και απαιτείται σημαντικό πάχος θωράκισης βαριού μετάλλου (π.χ. μόλυβδος, απεμπλουτισμένο ουράνιο) ή σκυροδέματος για την απορρόφηση της. Η ακτινοβολία-γ μπορεί να διεισδύσει και να προσφέρει ψηλές δόσεις ακτινοβολίας σε εσωτερικά όργανα του ανθρώπινου σώματος.

Ακτίνες-Χ

Είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (φωτόνια), όπως και η ακτινοβολία-γ, υψηλής ενέργειας και παράγεται τεχνητά με την απότομη επιβράδυνση μιας δέσμης ηλεκτρονίων. Οι ακτίνες-Χ είναι επίσης πολύ διεισδυτικές όπως και η ακτινοβολία-γ.

Οι ακτίνες-Χ, όπως και η ακτινοβολία-γ, μπορούν να διεισδύσουν και να προσφέρουν ψηλές δόσεις ακτινοβολίας σε εσωτερικά όργανα του ανθρώπινου σώματος.

Νετρόνια (n)

Είναι νετρόνια που εκπέμπονται από ασταθείς πυρήνες, ειδικότερα κατά την ατομική διάσπαση ή σύντηξη και πέρα από την τεχνητή παραγωγή τους, αποτελούν μέρος της κοσμικής ακτινοβολίας.

Τα νετρόνια, επειδή είναι ηλεκτρικά ουδέτερα, είναι πολύ διεισδυτικά και κατά την αλληλεπίδραση τους με τα διάφορα υλικά ή τους ιστούς του ανθρώπινου σώματος, προκαλούν εκπομπές ακτινοβολίας-β και γ. Για το λόγο αυτό απαιτείται σημαντική θωράκιση για τη μείωση της έκθεσης σε νετρόνια.

Κοσμική Ακτινοβολία

Προέρχεται από το διάστημα (**πρωτογενής κοσμική ακτινοβολία**) και είναι μίγμα από πολλά είδη ακτινοβολίας, περιλαμβανομένων σωματιδίων-α, ηλεκτρονίων και διαφόρων άλλων “**εξωτικών**” (ψηλής ενέργειας) σωματιδίων και ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας υψηλής ενέργειας. Τα σωματίδια αυτά αλληλεπιδρούν με την ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα η κοσμική ακτινοβολία στο επίπεδο του εδάφους να αποτελείται κυρίως από μόνια, νετρόνια, ηλεκτρόνια, ποζιτρόνια και φωτόνια (**δευτερογενής κοσμική ακτινοβολία**). Η δόση ακτινοβολίας στο επίπεδο του εδάφους προέρχεται κυρίως από τα μόνια και τα ηλεκτρόνια.