



Ραδιενεργός Ρύπανση Περιβάλλοντος II

*Μ.Ι. Αναγνωστάκης,
Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ*



Περιεχόμενα (1)

1. Ιοντίζουσες ακτινοβολίες
2. Ραδιενέργεια - Νόμος ραδιενεργών διασπάσεων
3. Φυσικές ραδιενεργές πηγές – Ραδιενεργός ισορροπία – Ραδιενέργεια του εδάφους - Κοσμική ακτινοβολία.
4. Μεγέθη δοσιμετρίας πυρηνικών ακτινοβολιών.
5. Αρχές Ακτινοπροστασίας
6. Υλικά με αυξημένη φυσική ραδιενέργεια (NORM) και Τεχνολογικά επαυξημένη φυσική ραδιενέργεια (TENORM)
7. Ραδιενεργός ρύπανση από βιομηχανικές εφαρμογές.
8. Ραδόνιο στην κατοικία και μέτρα περιορισμού του



Περιεχόμενα (2)

9. Ρύπανση από τη λειτουργία πυρηνικών σταθμών σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας
10. Πυρηνικοί αντιδραστήρες και πυρηνικά ατυχήματα
11. Διασπορά ραδιενεργών ρύπων και χάρτες.
12. Ατυχήματα με ραδιενεργές πηγές.
13. Ανίχνευση ραδιενέργειας και ανιχνευτικά συστήματα
14. Μετρήσεις δόσης και δοσίμετρα
15. Διαπίστωση ρύπανση και επισκοπήσεις (Case Study)
16. Απορρύπανση



2. Υλικά με Φυσική και Τεχνολογικά Επαυξημένη Φυσική Ραδιενέργεια (NORM-TENORM)



Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες παρουσιάζεται μεγάλο ενδιαφέρον για μία κατηγορία υλικών όπως ορυκτά, ορυκτά καύσιμα, πρώτες ύλες της βιομηχανίας κλπ, που παρουσιάζουν αυξημένα επίπεδα φυσικής ραδιενέργειας. Τα υλικά αυτά χαρακτηρίζονται ως **Φυσικά Ραδιενεργά Υλικά** και αναφέρονται στη βιβλιογραφία ως υλικά **NORM** (**N**aturally **O**ccurring **R**adioactive **M**aterials).

Η επεξεργασία των υλικών **NORM** από τη βιομηχανία (πχ εξορυκτική, μεταλλουργία, παραγωγής ενέργειας κλπ) έχει συχνά ως συνέπεια την δημιουργία προϊόντων και παραπροϊόντων που ενδεχομένως παρουσιάζουν υψηλότερα επίπεδα φυσικής ραδιενέργειας από αυτά της πρώτης ύλης. Τα υλικά αυτά χαρακτηρίζονται ως **Υλικά με Τεχνολογικά Επαυξημένη Φυσική Ραδιενέργεια** και αναφέρονται στη βιβλιογραφία ως υλικά **TENORM** (**T**echnologically **E**nhanced **N**aturally **O**ccurring **R**adioactive **M**aterials).



2.1 Φυσικά ραδιενεργά υλικά (NORM)



Υλικά NORM

Τα υλικά NORM παρουσιάζουν αυξημένα επίπεδα φυσικής ραδιενέργειας (σε ισότοπα της σειράς του ουρανίου και του θορίου, ^{40}K κλπ). Οι λόγοι για τους οποίους τα υλικά αυτά έχουν αυξημένα επίπεδα φυσικής ραδιενέργειας μπορεί να είναι:

- Φύση και σύσταση του υλικού
- Γεωλογία της περιοχής από την οποία προέρχεται το υλικό, σε συνδυασμό ενδεχομένως με φαινόμενα όπως η διάβρωση παρακειμένων πετρωμάτων και μεταφορά ραδιενεργών ισοτόπων στο υλικό υπό την επίδραση του νερού.

Πολύ συχνά στα NORM υλικά παρατηρείται σημαντική διαταραχή της ραδιενεργού ισορροπίας μεταξύ των ισοτόπων των φυσικών ραδιενεργών σειρών τα οποία περιέχουν.



Φωσφορικά ορυκτά

Τα φωσφορικά άλατα (φωσφατικά – phosphate), έχουν μεγάλο ενδιαφέρον για τη βιομηχανία, καθώς αποτελούν την πρώτη ύλη για την παραγωγή φωσφόρου, φωσφορικών λιπασμάτων και φωσφορικού οξέως. Τόσον η σύστασή τους, όσο και τα επίπεδα της φυσικής ραδιενέργειάς τους εξαρτάται σημαντικά από την προέλευσή τους. Εν γένει, περιέχουν 1/3 χαλαζιακή άμμο (quartz sands), 1/3 αργιλώδεις ενώσεις και 1/3 ενώσεις φωσφόρου. **Ορισμένα φωσφορικά ορυκτά περιέχουν ουράνιο σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 20 έως 300 ppm (0.26 to 3.7 Bq/g)** και για το λόγο αυτό χαρακτηρίζονται ουρανιούχα και θεωρούνται υλικά NORM. Το θόριο στα φωσφορικά ορυκτά περιέχεται σε μικρές συγκεντρώσεις ~1 έως 5 ppm (3.7 έως 22.2 mBq/g).

Κατά τη διάρκεια της βιομηχανικής επεξεργασίας τους είναι δυνατόν να παράγονται και TENORM



Φωσφορικά ορυκτά

Απαντώνται και εξορύσσονται σε διάφορα μέρη του κόσμου, χωρίζονται δε εν γένει σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με την φύση και την προέλευσή τους:

- **Πυριγενή πετρώματα** (igneous), προελεύσεως κυρίως Ν. Αφρικής και Βραζιλίας, αποτελούνται κυρίως από fluorapatite $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ και hydroxypatite $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$
- **Ιζηματογενή πετρώματα** (sedimentary) προελεύσεως κυρίως Αλγερίας, Μαρόκου και ΗΠΑ, αποτελούνται κυρίως από francolite $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_{6-x}\text{CO}_3)_x(\text{F} \text{ ή } \text{OH})_{2+x}$



Ορυκτά σπανίων γαιών

Ως σπάνιες γαίες (λανθανίδες) χαρακτηρίζονται μία ομάδα από 15 χημικά στοιχεία με παρόμοιες χημικές ιδιότητες και με Ατομικούς Αριθμούς 57 - 71, καθώς και το Ύτριο με Ατομικό Αριθμό 39. Τα στοιχεία αυτά έχουν μία σειρά από ιδιότητες που τα καθιστούν ιδιαίτερα χρήσιμα σε τεχνολογικές εφαρμογές όπως ως καταλύτες, κεραμικά και πυρίμαχα υλικά, διεργασίες της μεταλλουργίας κατασκευή μαγνητών, τεχνολογία κατασκευής υπεραγωγών υλικών κλπ. Τα ορυκτά των σπανίων γαιών είναι δυνατό να περιέχουν υψηλά επίπεδα φυσικής ραδιενέργειας. Για παράδειγμα ο μπαστανσίτης (bastnasite) που περιέχει ως και 75% οξείδια των σπανίων γαιών περιλαμβάνει έως **0.1% ThO_2** . Αντίστοιχα ο μοναζίτης (monazite) μπορεί να περιέχει περί το 60% οξείδια σπανίων γαιών και **4 to 10% ThO_2** καθώς και **0.1 ως 0.5 % U_3O_8** . Για το λόγο αυτό θεωρούνται υλικά NORM.



Σπάνιες γαίες (λανθανίδες)

METALS											NON METALS							
1 H																		2 He
3 Li	4 Be												5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg												13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	
87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Unq	105 Unp														
			58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu		
			90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr		

Λανθανίδες



2.2 Υλικά με τεχνολογικά επαυξημένη φυσική ραδιενέργεια (TENORM)



Υλικά TENORM

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Η χρήση υλικών NORM στη βιομηχανία (μεταλλευτική, μεταποιητική, παραγωγής ενέργειας κλπ) είναι δυνατόν να επιφέρει επαύξηση της περιεχόμενης ραδιενέργειας (Bq/μονάδα μάζας) σε ορισμένα από τα παραγόμενα προϊόντα ή υποπροϊόντα, λόγω της εκλεκτικής συγκέντρωσης των ραδιενεργών ιχνοστοιχείων σε αυτά. Τα υλικά αυτά χαρακτηρίζονται ως υλικά με Τεχνολογικά Επαυξημένη Φυσική Ραδιενέργεια (**T**echnologically **E**nhanced **N**aturally **O**ccurring **R**adioactive **M**aterials –**TENORM**), και αποτελούν τα τελευταία χρόνια αντικείμενο ιδιαίτερου ενδιαφέροντος καθώς έχουν είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε ραδιοβιολογική επιβάρυνση πληθυσμού και εργαζομένων.



Βιομηχανικές δραστηριότητες που ενδεχομένως παράγουν TENORM

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Industry or work activity	Potentially significant solid residues?	Potentially significant liquid discharges?	Potentially significant aerial discharge?
Onshore oil/gas	Yes, sludges, scales	Yes, if discharged but no if liquids are re-injected	No
Offshore oil/gas	Yes, sludges, scales	Yes, produced water, scales	No
Phosphoric acid	Yes, if phosphogypsum is stockpiled	Yes, if phosphogypsum is discharged	No
Phosphate fertiliser ²	Yes/no, depending on process	Yes/no, depending on process	No
Thermal phosphorus	Yes, calcined dust and slag	Yes, ²¹⁰ Po, ²¹⁰ Pb	Yes, ²¹⁰ Po, ²¹⁰ Pb
TiO ₂ pigment	Yes, solids from liquid waste treatment	Yes/no depending on process	No
Steel	Yes, blast furnace and sinter dust	Yes/no depending on waste water treatment	Yes, ²¹⁰ Po, ²¹⁰ Pb
Cement	No	No	Yes, ²¹⁰ Po, ²¹⁰ Pb
Coal fuelled power plants	Bottom and fly ash	No	No
Bricks and roofing tiles	No	No	Yes, ²¹⁰ Po
Tin smelters (closed down)	Slag, slag wool, historical	No	Yes, ²¹⁰ Po, ²¹⁰ Pb
Metal extraction from tin slag	Yes, slag	No	Yes, ²¹⁰ Po, ²¹⁰ Pb
Lead/Zinc smelter	Yes, cobalt-cake	No	Yes, ²¹⁰ Po, ²¹⁰ Pb
Copper smelter	NK	No	Yes, ²¹⁰ Po, ²¹⁰ Pb



Βιομηχανικές δραστηριότητες που ενδεχομένως παράγουν TENORM

- Εξόρυξη ουρανίου
- Εξόρυξη και επεξεργασία των ορυκτών σπανίων γαιών
- Εξόρυξη και επεξεργασία ορυκτών και μεταλλευμάτων
- Καύση ορυκτών καυσίμων για παραγωγή ενέργειας
- Εξόρυξη και επεξεργασία πετρελαίου και φυσικού αερίου
- Παραγωγή γεωθερμικής ενέργειας
- Βιομηχανία φωσφορικών λιπασμάτων
- Ανακύκλωση μετάλλων
- Επεξεργασία νερού



2.2.1 Δημιουργία *TENORM* κατά την εξόρυξη του ουρανίου



ΤΕΝΟΡΜ που παράγονται στα ορυχεία ουρανίου

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Η εξόρυξη ουρανίου ξεκίνησε κατά τη δεκαετία του 1940, με σκοπό την παραγωγή ουρανίου για την κατασκευή όπλων. Λίγο αργότερα το ενδιαφέρον επεκτάθηκε και στην παραγωγή πυρηνικού καυσίμου για τους πυρηνικούς αντιδραστήρες. Η εξόρυξη των ουρανιούχων μεταλλευμάτων σε επιφανειακά (ανοικτά) ή υπόγεια (κλειστά) ορυχεία συνεπάγεται την παραγωγή μεγάλου όγκου άχρηστων υλικών. Αντίθετα με τα ουρανιούχα μεταλλεύματα (πρώτη ύλη) και τα υπολείμματα των μύλων άλεσης (υποπροϊόν) τα οποία, όσον αφορά στη διάθεσή τους, υπόκεινται στους Κανονισμούς που έχει θεσπίσει ο Διεθνής Οργανισμός Ατομικής Ενέργειας (International Atomic Energy Agency – IAEA) τα υπόλοιπα υλικά που προκύπτουν και έχουν μεγάλο όγκο, δεν υπόκεινται στους ίδιους κανονισμούς.



TENORM που παράγονται στα ορυχεία ουρανίου

Καθώς τα υλικά που προκύπτουν κατά την εξόρυξη του ουρανίου έχουν εν γένει αυξημένη φυσική ραδιενέργεια και είναι δυνατόν να αυξήσουν τα επίπεδα φυσικής ραδιενέργειας και το ρυθμό δόσης στη θέση όπου αποτίθενται, αντιμετωπίζονται ως υλικά TENORM. Στην κατηγορία αυτή υλικών περιλαμβάνονται:

- Τα υπερκείμενα εδάφη (overburden) επιφανειακών ορυχείων που πρέπει να απομακρυνθούν για να είναι αποκαλυφθεί το ουρανιούχο μετάλλευμα. Έχουν σχετικά χαμηλά επίπεδα φυσικής ραδιενέργειας (ουράνιο και θυγατρικά). **Ενδεικτική τιμή για ^{226}Ra περί το 1kBq kg^{-1} .**
- Μετάλλευμα που δεν είναι οικονομικά αξιοποιήσιμο και το οποίο αποτίθεται στην περιοχή του ορυχείου (low-grade ore).

Στη διεπιφάνεια υπερκειμένων και μη αξιοποιήσιμου μεταλλεύματος η ραδιενέργεια ^{226}Ra μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ **100 και $\sim 10000\text{ Bq kg}^{-1}$**



TENORM που παράγονται στα ορυχεία ουρανίου

Ο συνολικός όγκος για τις ΗΠΑ μόνον εκτιμάται σε $4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ εκ των οποίων περί το 90% παρήχθη τα τελευταία 20 χρόνια σε επιφανειακά ορυχεία. Επισημαίνεται ότι εκμετάλλευση χαμηλής ποιότητας μεταλλεύματος (μικρή περιεκτικότητα, οδηγεί στην παραγωγή μεγαλύτερου όγκου υπολειμμάτων.

Ο μεγαλύτερος όγκος των υπερκειμένων στοιβάζεται και σταθεροποιείται κοντά στο χώρο εξόρυξης και σε μερικές περιπτώσεις χρησιμοποιείται για την αποκατάσταση των εξαντλημένων ορυχείων ή και για κατασκευή δρόμων στην περιοχή των ορυχείων.

Αν και αρχικά τα ορυχεία ουρανίου ήταν εγκατεστημένα σε απομακρυσμένες και ακατοίκητες περιοχές, σήμερα σε πολλές περιπτώσεις οι περιοχές αυτές γίνονται αρκετά δημοφιλείς για εγκατάσταση αλλά και διότι ενδεχομένως παρουσιάζουν ενδιαφέρον πχ από τουριστικής απόψεως, με ότι αυτό συνεπάγεται.



Αποθέσεις καταλοίπων της εξόρυξης του ουρανίου

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας



- Μεταφορά ισοτόπων με το νερό και ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα (leaching).
- Επαναιώρηση της σκόνης με τον άνεμο και ρύπανση (resuspension).
- Απευθείας ακτινοβολήση





2.2.2 Δημιουργία TENORM κατά την επεξεργασία των σπανίων γαιών



Δημιουργία TENORM κατά την επεξεργασία των ορυκτών σπανίων γαιών

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Η ετήσια παραγωγή TENORM waste από την επεξεργασία σπανίων γαιών εκτιμάται σε 20,800 m³, όπου περί το 6% έχει αρκετά υψηλή ραδιενέργεια που φτάνει τα ~140 Bq/g ²³²Th και ~650 Bq/g ²³⁸U.

Ο ρυθμός δόσης στην περιοχή που αποτίθενται τα κατάλοιπα αυτά, μπορεί να κυμαίνεται από τα επίπεδα του φυσικού υποστρώματος της περιοχής, έως και πάνω από τα 100 μSv/h.

Σε ορισμένες περιπτώσεις τα υποπροϊόντα μπορεί να έχουν αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις ραδιενεργών ιχνοστοιχείων, ώστε να θεωρούνται low-level waste και απαιτείται η απόθεσή τους σύμφωνα με τους ισχύοντες Διεθνείς Κανονισμούς.



2.2.3 Δημιουργία *TENORM* κατά την εξόρυξη και επεξεργασία άλλων ορυκτών



ΤΕΝΟΡΜ κατά την εξόρυξη και επεξεργασία ορυκτών

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Η εξόρυξη και επεξεργασία ορυκτών και μεταλλευμάτων για την παραγωγή μετάλλων έχει ως συνέπεια την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων στερεών υπολειμμάτων και υγρών αποβλήτων, καθώς τα μέταλλα εν γένει αποτελούν μικρό ποσοστό του αντίστοιχου αρχικού μεταλλεύματος.

Μόνο στις ΗΠΑ εκτιμάται ότι κατά τη χρονική περίοδο 1910-1981 παρήχθησαν περί τα 40 δισεκατομμύρια m^3 υπολειμμάτων, χωρίς να περιλαμβάνονται αυτά από την εξόρυξη φωσφορικών και ουρανιούχων. Ετησίως εκτιμάται ότι η εξορυκτική βιομηχανία παράγει περί το $1.5 \cdot 10^9 m^3$ υπολειμμάτων, εκ των οποίων, $10^9 m^3$ υπερκείμενα, $0.4 \cdot 10^9 m^3$ φτωχό μέταλλευμα και λιγότερο από $0.1 \cdot 10^9 m^3$ σκωρία από χυτεύσεις.



TENORM απόν εξόρυξη και επεξεργασία ορυκτών

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Φυσικά ραδιενεργά ισότοπα, σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται, περιέχονται σε πολλά μεταλλεύματα. Η επικρατούσα άποψη σήμερα όσον αφορά στα επίπεδα της φυσικής ραδιενέργειας των μεταλλευμάτων είναι ότι:

Το επίπεδο της φυσικής ραδιενέργειας σε ένα μετάλλευμα εξαρτάται κυρίως από τον γεωλογικό σχηματισμό και την περιοχή από την οποία αυτό εξορύσσεται και λιγότερο από τον συγκεκριμένο τύπο του ορυκτού/μεταλλεύματος.

Επιπλέον, τα επίπεδα φυσικής ραδιενέργειας που αναφέρονται για ένα μετάλλευμα, ή τα προϊόντα και παραπροϊόντα συγκεκριμένης επεξεργασίας του δεν πρέπει να θεωρούνται αντιπροσωπευτικά για το μετάλλευμα που εξορύσσεται σε άλλη περιοχή ή τα προϊόντα και παραπροϊόντα άλλου είδους επεξεργασίας



TENORM από εξόρυξη και επεξεργασία ορυκτών

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Η διαδικασία επεξεργασίας και εμπλουτισμού μεταλλευμάτων προκειμένου να παραχθεί το τελικό προϊόν (μέταλλο) είναι εν γένει αρκετά πολύπλοκη και περιλαμβάνει πολλά βήματα, όπως χημική επεξεργασία, χύτευση κλπ. Η διαδικασία αυτή συχνά οδηγεί σε συγκέντρωση ορισμένων στοιχείων σε συγκεκριμένα προϊόντα ή υποπροϊόντα της διεργασίας, με συνέπεια τον εμπλουτισμό τους στα στοιχεία αυτά. Στην περίπτωση που τα στοιχεία αυτά (πχ ράδιο) έχουν ραδιενεργά ισότοπα (^{228}Ra , ^{226}Ra , ^{224}Ra) το αποτέλεσμα είναι η αύξηση των επιπέδων της ραδιενέργειας του προϊόντος/υποπροϊόντος. Αν μάλιστα πρόκειται για ισότοπα φυσικής ραδιενέργειας τότε το προϊόν/ υποπροϊόν χαρακτηρίζεται ως TENORM.

Προφανώς, η δημιουργία TENORM υλικών εξαρτάται άμεσα από τη συγκεκριμένη διαδικασία επεξεργασίας/εμπλουτισμού.



TENORM από εξόρυξη και επεξεργασία ορυκτών

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Τα περισσότερα κατάλοιπα της εξόρυξης μεταλλευμάτων αποτίθενται στον χώρο εξόρυξης ενώ ένα μέρος μπορεί να χρησιμοποιείται τοπικά για την αποκατάσταση των ορυχείων ή την κατασκευή μικρών τεχνικών έργων (πχ δρόμοι, φράγματα κλπ). Σε ορισμένες περιπτώσεις κατάλοιπα της επεξεργασίας των μεταλλευμάτων χρησιμοποιούνται και σε άλλες εφαρμογές (πχ κατασκευή σκυροδέματος).

Στις βιομηχανίες εξόρυξης και επεξεργασίας μετάλλου που θεωρείται ότι μπορεί να οδηγούν σε δημιουργία υλικών TENORM περιλαμβάνονται αυτές των: **βωξίτη, μολύβδου, θορίου, βηρυλλίου, μολυβδαινίου, ψευδαργύρου, νικελίου, ουρανίου, χαλκού, σπανίων γαιών, τιτανίου, χρυσού, αργύρου, σιδήρου, κασσιτέρου κλπ.**



ΤΕΝΟΡΜ από εξόρυξη και επεξεργασία ορυκτών

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Η βιομηχανία παραγωγής **ζιρκονίου** (zirconium, Zr), **αφνίου** (hafnium, Ha), **τιτανίου** (titanium, Ti) και **κασσίτερου** (tin, Sn) έχει ως συνέπεια την παραγωγή υποπροϊόντων ετησίως περί τα 470,000 m³ με μέση συγκέντρωση ²²⁶Ra περί τα 1.6 Bq/g.

Ραδιενέργεια ορισμένων μεταλλευμάτων σε Bq/kg

Ore	²³⁸ U	²³² Th
Bauxite (aluminium)	37 - 530	41 - 527
Iron ore [1]	<50	<50
Pyrochlore (ferro-niobium) [2]	6 000 – 10 000	7 000 – 80 000
Tin ore [2]	1 000	300



ΤΕΝΟΡΜ κατά την εξόρυξη και επεξεργασία ορυκτών (τιτάνιο)

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Η πρώτη ύλη για το τιτάνιο πολύ συχνά συνυπάρχει με άμμο σπανίων γαιών (μοναζίτη), έτσι ώστε η πρώτη ύλη να έχει αρκετά υψηλές τιμές ουρανίου, θορίου και των θυγατρικών τους. Η λάσπη που προκύπτει από την επεξεργασία της πρώτης ύλης κατά την παραγωγή τιτανίου ενδέχεται να έχει πολύ υψηλές συγκεντρώσεις ^{226}Ra (αναφέρονται τιμές έως **2.85 Bq/g**).



TENORM κατά την εξόρυξη και επεξεργασία ορυκτών (ζιρκόνιο)

Ορυκτά ζιρκονίου (ZrO_2), με έμφαση αυτά προελεύσεως Ν.Αφρικής, κατά την επεξεργασία τους υπόκεινται σε χλωρίωση για την παραγωγή τετραχλωριδίου. Η διαδικασία αυτή έχει ως συνέπεια η συγκέντρωση του ^{226}Ra φτάνει στο προϊόν αυτό έως και **7.4 Bq/g**. Η απευθείας αυτή χλωρίωση του ζιρκονίου έχει ως συνέπεια τη δημιουργία εξαιρετικά ευδιάλυτου άλατος του ραδίου, με συνέπεια τις πολύ υψηλές συγκεντρώσεις του σε τυχόν υγρά κατάλοιπα (liquid waste) της τάξης των **1600 Bq/l**. Η υψηλή κινητικότητα του ραδίου το οποίο περιέχεται στα κατάλοιπα αυτά μπορεί να αποτελέσει κίνδυνο για το περιβάλλον.



TENORM κατά την εξόρυξη και επεξεργασία ορυκτών (κασσίτερος)

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Κατά την επεξεργασία των ορυκτών κασσιτέρου για τη συγκέντρωση του μετάλλου και την παραγωγή τελικού προϊόντος, παράγονται κατάλοιπα στα οποία περιέχονται μεταξύ άλλων monazite, zircon, ilmenite, rutile, garnet κλπ. Στα κατάλοιπα αυτά έχουν αναφερθεί ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις ^{226}Ra και ^{232}Th (15.91-17.76 Bq/g και 42.9-326.7 Bq/g αντίστοιχα).

Μετρήσεις του ρυθμού δόσης στο χώρο φύλαξης της σκωρίας που προκύπτει κατά τη χύτευση κασσιτέρου, έδειξαν πολύ υψηλές τιμές έως και 4.35 $\mu\text{Sv/h}$.



2.2.4 Δημιουργία TENORM κατά την καύση ορυκτών καυσίμων



Καύση ορυκτών καυσίμων για παραγωγή ενέργειας

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Η καύση στερεών ορυκτών καυσίμων (άνθρακα, λιγνίτη, τύρφης κλπ) εξακολουθεί σήμερα να αποτελεί μία από τις σημαντικότερες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας για οικιακή χρήση και τη βιομηχανία. Μόνο στις ΗΠΑ λειτουργούν περί τους 1300 λέβητες όπου καίγεται άνθρακας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και περί τους 60000 λέβητες για βιομηχανική χρήση. Ως αποτέλεσμα της λειτουργίας τους εκτιμάται ότι ετησίως καταναλώνεται (το 1990) περί τα τους $700 \cdot 10^6$ τόνους άνθρακα και παράγονται περί τους $60 \cdot 10^6$ τόνους τέφρας.

Ανάλογα με την περιεκτικότητα του καυσίμου σε φυσικά ραδιενεργά ισότοπα αλλά και την ποιότητα του καυσίμου, είναι ενδεχόμενο η περιεκτικότητα των φυσικών ραδιενεργών ισοτόπων στις παραγόμενες τέφρες να είναι αρκετά υψηλή **κατατάσσοντας στην τέφρα στα υλικά TENORM.**



Φυσική ραδιενέργεια των ορυκτών καυσίμων

Η ραδιενέργεια των ορυκτών καυσίμων (άνθρακα, λιγνίτη, τύρφη κλπ) κυμαίνεται σημαντικά, σε μία περιοχή τιμών που έχει εύρος δύο τάξεις μεγέθους, και εξαρτάται από τον τύπο του καυσίμου και την προέλευσή του. Κύμανση παρατηρείται ακόμα και στο ίδιο καύσιμο που εξορύσσεται στην ίδια περιοχή αλλά από διαφορετική τομή ή διαφορετικό βάθος.

Οι μέσες τιμές ραδιενέργειας όπως προκύπτουν (ενδεικτικά) από στοιχεία για 15 χώρες είναι:

- ^{40}K 50 Bq kg⁻¹
- ^{238}U 20 Bq kg⁻¹
- ^{232}Th 20 Bq kg⁻¹

Material	^{238}U series (Bq kg ⁻¹)	^{232}Th series (Bq kg ⁻¹)
Coal (global av.) [1]	20	22
Natural gas [2]	340 Bq m ⁻³ (^{222}Rn)	-
Peat (global av.) [3]	40	-



Καύση ορυκτών καυσίμων στην Ελλάδα για παραγωγή ενέργειας

Στην Ελλάδα, περί το 65% της ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται σε λιγνιτικούς σταθμούς (περί το 44% της εγκατεστημένης ισχύος). Σήμερα, δύο είναι τα λιγνιτικά πεδία υπό εκμετάλλευση:

- Το λιγνιτικό πεδίο της Πτολεμαΐδας, με εκτιμώμενα αποθέματα λιγνίτη περί τους $2700 \cdot 10^6$ τόνους, όπου βρίσκονται εγκατεστημένοι 5 σταθμοί (ΑΗΣ) με 17 μονάδες και συνολική ισχύ 4000 MW. Η συνολική ετήσια κατανάλωση σε λιγνίτη ανέρχεται σε $51 \cdot 10^6$ τόνους και η αντίστοιχη παραγωγή τέφρας σε $8 \cdot 10^6$ τόνους.
- Το λιγνιτικό πεδίο της Μεγαλόπολης, με εκτιμώμενα αποθέματα λιγνίτη περί τους $370 \cdot 10^6$ τόνους, όπου βρίσκονται εγκατεστημένοι 2 σταθμοί (ΑΗΣ) με 4 μονάδες και συνολική ισχύ 850 MW. Η συνολική ετήσια κατανάλωση σε λιγνίτη ανέρχεται σε $12.5 \cdot 10^6$ τόνους και η αντίστοιχη παραγωγή τέφρας σε $2.5 \cdot 10^6$ τόνους.



Ο Ελληνικός λιγνίτης

Ο Ελληνικός λιγνίτης, και ιδιαίτερα αυτός της Μεγαλόπολης, είναι σχετικά χαμηλής ποιότητας καύσιμο, με μεγάλο ποσοστό υγρασίας (έως και 60%), υψηλή περιεκτικότητα σε άκαυστα (έως 20%) και μικρή θερμογόνο δύναμη ($\sim 4.2 \text{ kJ kg}^{-1}$). Όσον αφορά στη χημική σύσταση του λιγνίτη, ένα υψηλό ποσοστό των ακαύστων αποτελείται από SiO_2 . Ειδικότερα για την περίπτωση της Μεγαλόπολης, το SiO_2 αποτελεί περί το 40% της παραγόμενης τέφρας. Επιπλέον, και στα δύο κύρια λιγνιτικά πεδία (Πτολεμαΐδας και Μεγαλόπολης) η περιεκτικότητα του λιγνίτη σε φυσικά ραδιενεργά ισότοπα είναι αρκετά υψηλότερη της αντίστοιχης του εδάφους.



Φυσική ραδιενέργεια λιγνιτών και τεφρών Ελληνικών ΑΗΣ

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Power unit	Lignite (Bqkg ⁻¹)				Fly-ash (Bqkg ⁻¹)				Bottom-ash (Bqkg ⁻¹)			
	²³⁸ U	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	⁴⁰ K	²³⁸ U	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	⁴⁰ K	²³⁸ U	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	⁴⁰ K
Megalopolis Unit IV (1987)	306±13	346±8	361±10	173±14	964±7	904±9	1158±11	454±11	681±4	662±9	275±6	405±11
Megalopolis Unit III (1985)	355±13	321±40	370±13	191±14	928±9	845±71	948±10	502±21	590±11	587±71	372±13	423±30
Megalopolis Unit I (1985)		314±52		181± 26		807±38		449± 47		546±77		406±63
Megalopolis (1984)						590-850						
Megalopolis (1981)	433± 126	118±26			492± 122	392±33						
Ptolemais Unit IV (1985)		83±6		78±13		261±19		251±16		114±16		137±21
Kardia Unit I (1985)		175±20		68±13		600±75		217±17		363±29		200±11
Kardia (1984)					340-640	190-500						
Kardia (1981)	388-422	255±30			503± 851	385-421						
Kardia (1979)	126±37	255±30			260±37	385±33			144±37	174±33		



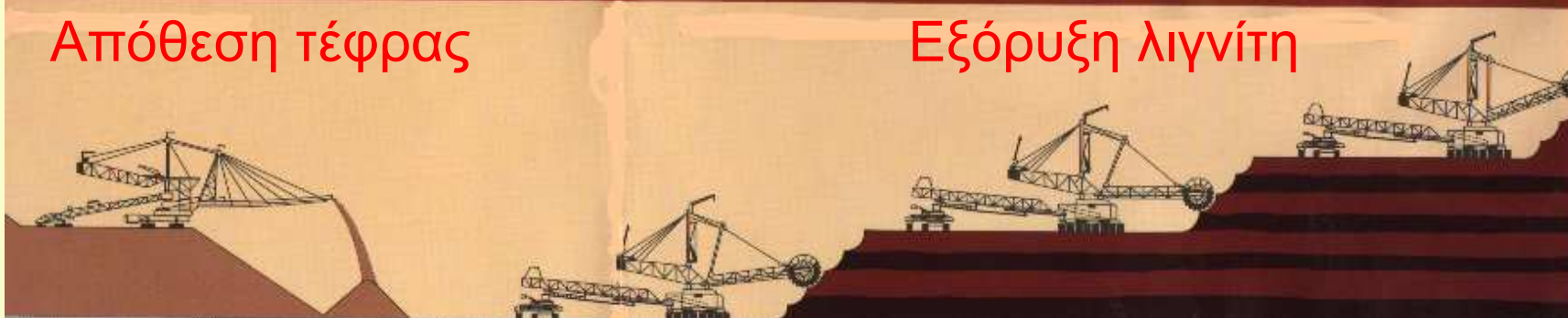
Εξόρυξη λιγνίτη σε ανοικτό ορυχείο

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας



Απόθεση τέφρας

Εξόρυξη λιγνίτη



Εισαγωγή στις Τεχνολογίες Προστασίας του Περιβάλλοντος



Λιγνιτική τομή σε ορυχείο

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας



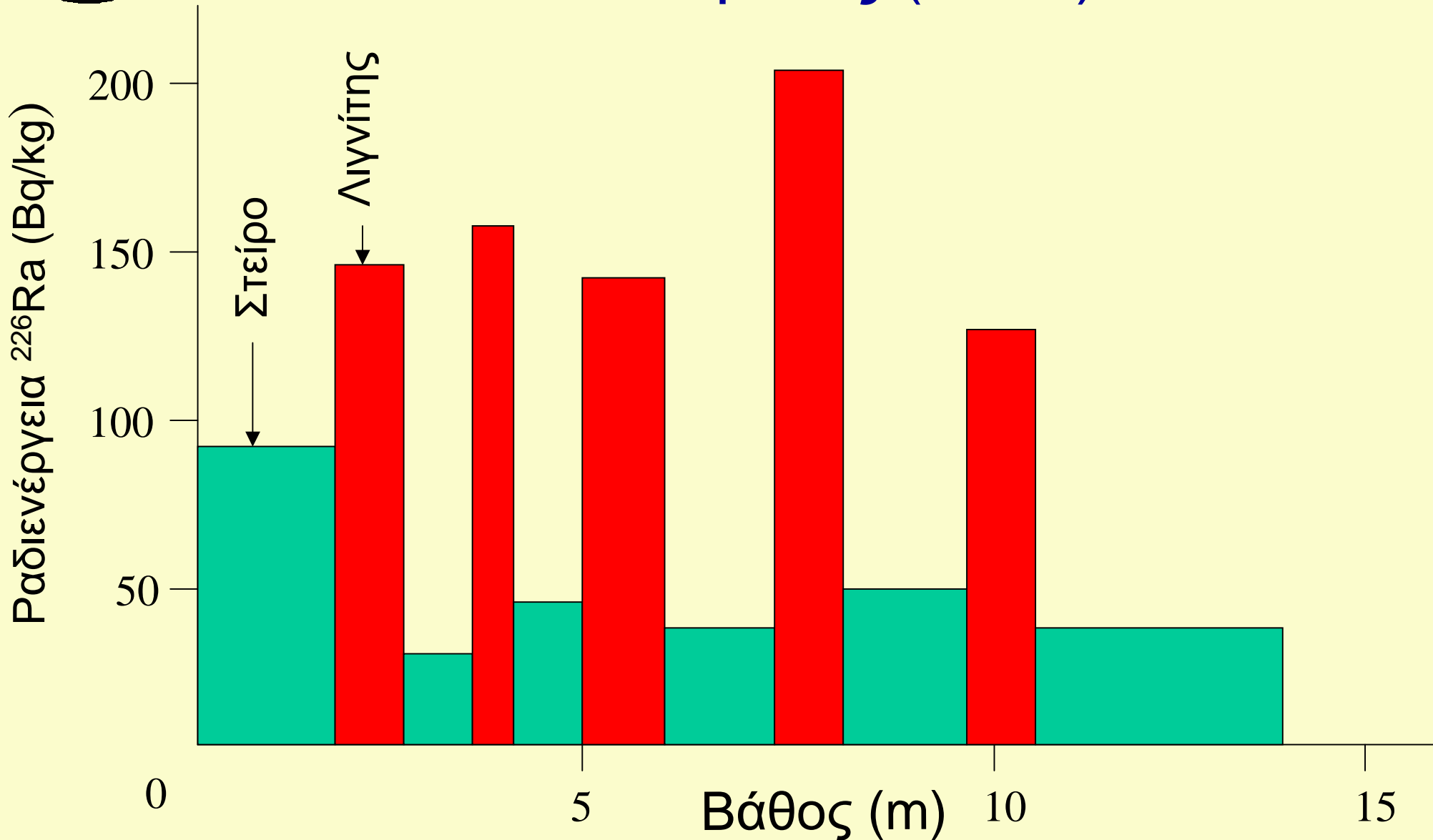
Εισαγωγή στις Τεχνολογίες Προστασίας του Περιβάλλοντος

II 39/169



Κύμανση της ραδιενέργειας ^{226}Ra σε μία λιγνιτική τομή του Πεδίου-II Καρδιάς (1981)

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας





Καύση ορυκτών καυσίμων και παραγωγή τέφρας

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Μέσα στο καυστήρα το καύσιμο καίγεται σε θερμοκρασία που μπορεί να φτάνει και τους 1700°C . Κατά τη διαδικασία της καύσης, το μεγαλύτερο μέρος των μεταλλικών συστατικών που υπάρχουν στο καύσιμο τήκεται σε μορφή υαλοποιημένης τέφρας. Οι μεγαλύτεροι και βαρύτεροι κόκκοι τέφρας, μαζί με άκαυστη οργανική ύλη καταπίπτει μέσα στο λέβητα και σχηματίζει τη λεγόμενη υγρή τέφρα ή σκωρία (bottom ash ή slag). Οι ελαφρότεροι κόκκοι τέφρας παρασύρονται με τα καυσαέρια και τα στοιχεία που έχουν εξατμισθεί λόγω της καύσης προς την καμινάδα του σταθμού (ιπτάμενη τέφρα IT – fly-ash). Το μεγαλύτερο ποσοστό IT, κατακρατείται από τα Ηλεκτροστατικά Φίλτρα (ΗΣΦ), ανάλογα φυσικά από την απόδοσή τους, ενώ ένα μικρό ποσοστό διαφεύγει από την καμινάδα προς την ατμόσφαιρα (διαφεύγουσα τέφρα).



Καύση ορυκτών καυσίμων και παραγωγή τέφρας

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Εξαιτίας κυρίως της απομάκρυνσης της οργανικής ύλης και του νερού από το καύσιμο, υπάρχει έντονος εμπλουτισμός των μεταλλικών στοιχείων που παραμένουν στην τέφρα, η οποία τυπικά περιέχει κυρίως Si, Al, Fe, Ca. Στα υψηλής ποιότητας καύσιμα που έχουν πολύ χαμηλό ποσοστό άκαυστης ύλης (πλούσια σε οργανική ύλη), ο εμπλουτισμός αυτός μπορεί να είναι και της τάξης του 10. Στον ελληνικό λιγνίτη που είναι ένα φτωχό καύσιμο, με υψηλή περιεκτικότητα σε άκαυστα και νερό, ο εμπλουτισμός είναι περί το 3.

Ως συνέπεια των παραπάνω διεργασιών, και τα ραδιενεργά ισότοπα που υπάρχουν στο αρχικό καύσιμο παρουσιάζονται εμπλουτισμένα στην τέφρα (ιπτάμενη και υγρή) όπου και παραμένουν. Για το λόγο αυτό η τέφρα από την καύση ορυκτών καυσίμων χαρακτηρίζεται ως υλικό TENORM.



Καύση ορυκτών καυσίμων και παραγωγή τέφρας

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Ανάλογα με τη φυσικοχημική συμπεριφορά των διαφόρων ιχνοστοιχείων που υπάρχουν στο καύσιμο (ραδιενεργών και μη) κατά τη διάρκεια της καύσης παρατηρείται εκλεκτική συγκέντρωσή τους σε διάφορα κλάσματα της τέφρας (υγρή ή ιπτάμενη τέφρα).

Επιπλέον, τα πτητικά ιχνοστοιχεία που εξατμίζονται κατά τη διάρκεια της καύσης έχουν την τάση να συμπυκνώνονται πάλι όταν η θερμοκρασία καυσαερίων μειώνεται (προς την καμινάδα), είτε στα τοιχώματα του καυστήρα, φίλτρα, καμινάδα κλπ, είτε πάνω στους κόκκους της ιπτάμενης τέφρας.

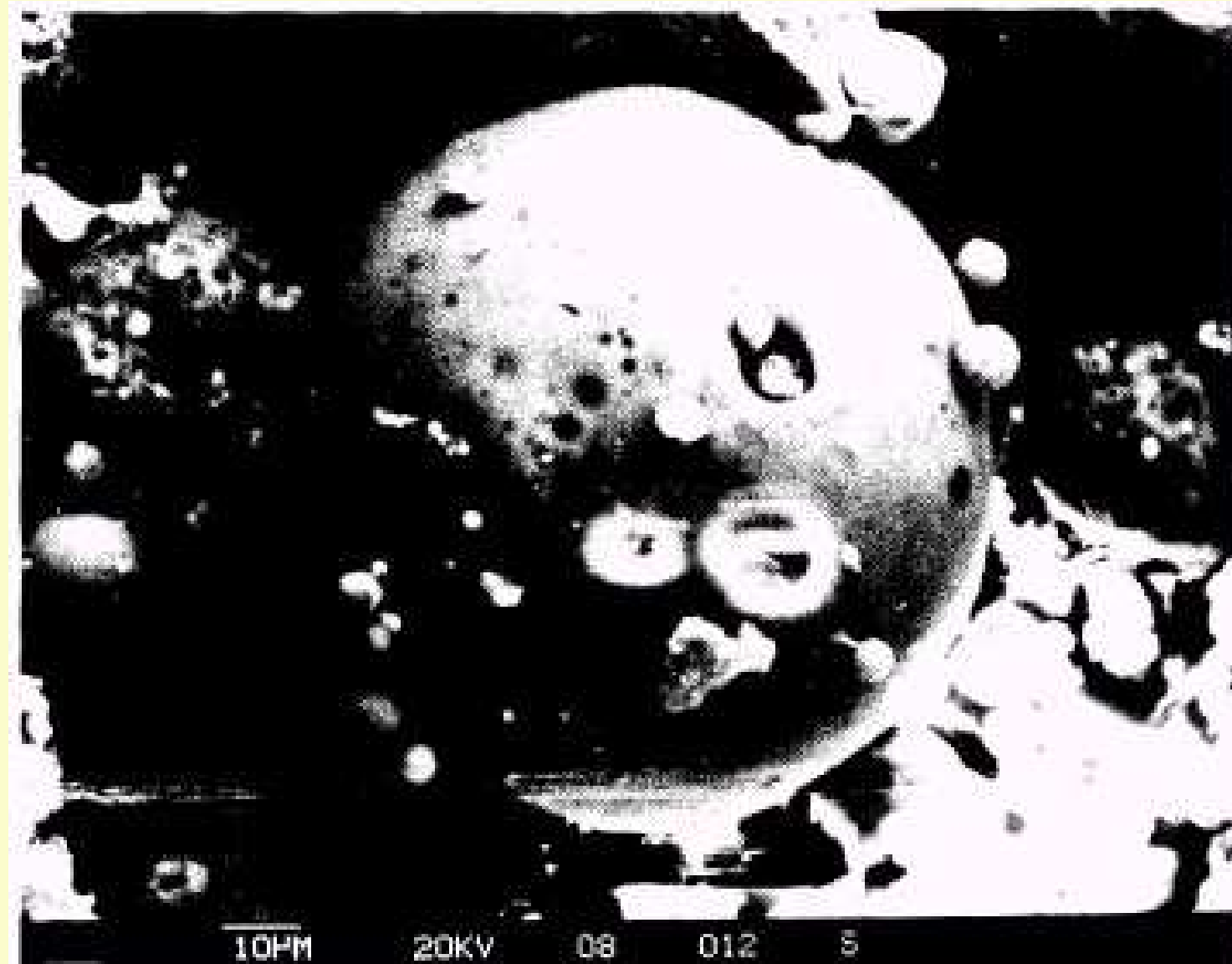
Ως συνέπεια των παραπάνω παρατηρείται διαταραχή της ραδιενεργού ισορροπίας στις παραγόμενες τέφρες που μπορεί να είναι ιδιαίτερα έντονη.



Σωματίδιο τέφρας διαμέτρου $< 5\mu\text{m}$

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

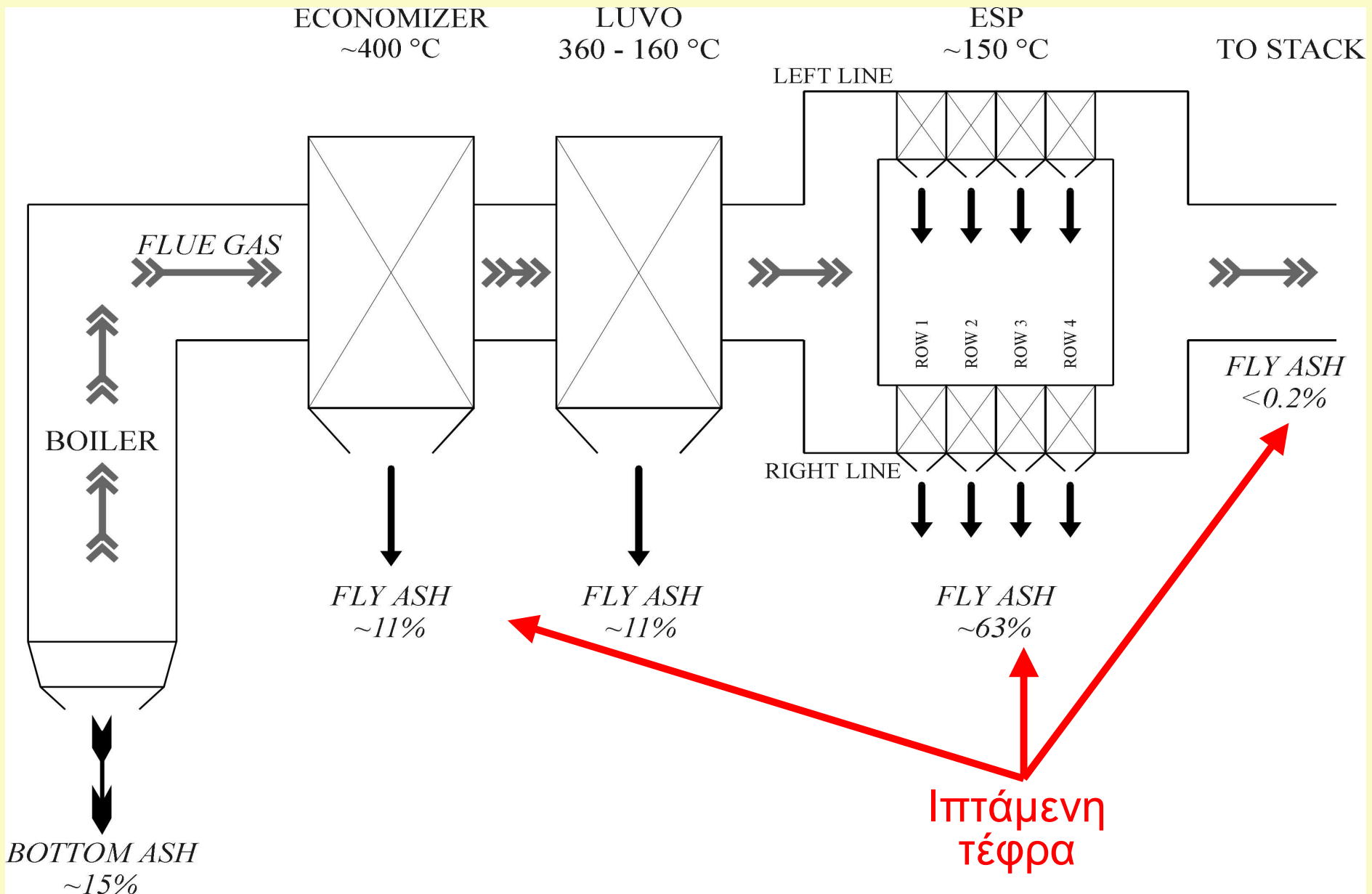
Η εκροή ραδονίου από τους κόκκους της ιπτάμενης τέφρας είναι σχετικά χαμηλή, εξαιτίας της υαλοποίησης που υφίσταται κατά τη διάρκεια της καύσης και η οποία εξαρτάται από τη σύσταση του καυσίμου και τη θερμοκρασία καύσης





Σχηματικό διάγραμμα του ΑΗΣ-4 Μεγαλόπολης

Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας





Ραδιενέργεια λιγνίτη και τεφρών (Bqkg⁻¹) ΑΗΣ-4 Μεγαλόπολης

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Material	²³⁸ U (²³⁴ Th)	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²³² Th (²²⁸ Th)	⁴⁰ K
Lignite	306 ± 13	346 ± 8	361 ± 10	19 ± 9	173 ± 14
Fly-ash	964 ± 7	904 ± 9	1158 ± 11	52 ± 2	454 ± 11
Bottom-ash	681 ± 4	662 ± 9	275 ± 6	41 ± 5	405 ± 11

* Για το έτος 1997



Ραδιενέργεια τεφρών από τον ΑΗΣ-Β Μεγαλοπολης (Bq/kg)

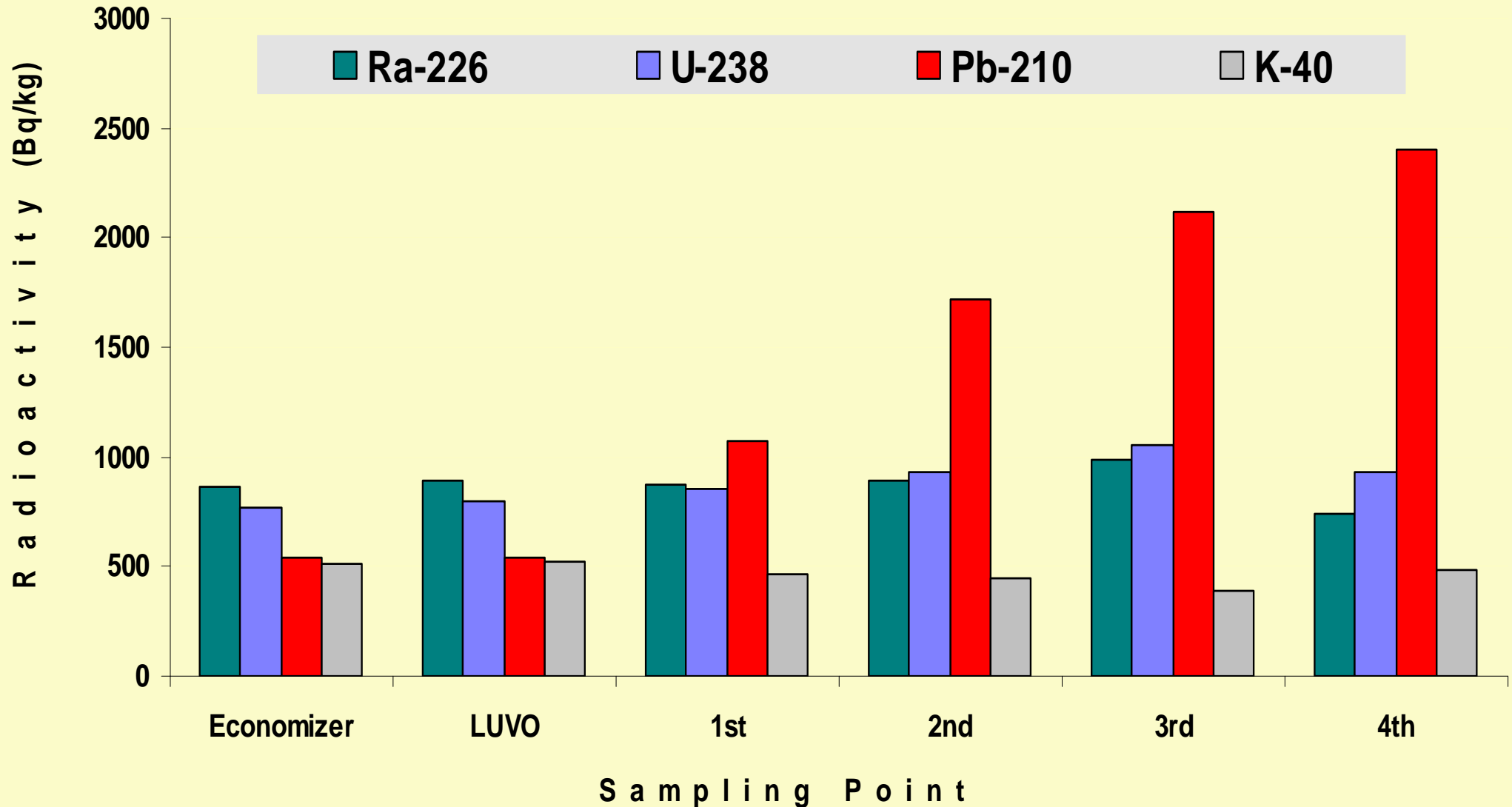
Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Sampling point and sample size	^{238}U	^{226}Ra	^{210}Pb	^{232}Th	^{40}K
ECO (12)	771 \pm 7	863 \pm 7	538 \pm 17	56 \pm 5	508 \pm 7
LUVO (15)	794 \pm 10	896 \pm 11	539 \pm 11	57 \pm 6	520 \pm 7
ESP L1 (27)	859 \pm 10	876 \pm 9	1068 \pm 24	54 \pm 6	466 \pm 9
ESP L2 (16)	934 \pm 9	893 \pm 9	1717 \pm 10	53 \pm 6	444 \pm 6
ESP L3 (13)	1053 \pm 16	987 \pm 12	2119 \pm 29	53 \pm 10	387 \pm 10
ESP L4 (4)	934 \pm 23	739 \pm 22	2404 \pm 25	49 \pm 14	487 \pm 6
ESP R1 (29)	870 \pm 12	885 \pm 14	1167 \pm 23	54 \pm 5	463 \pm 10
ESP R2 (22)	1001 \pm 10	963 \pm 10	1848 \pm 19	54 \pm 4	441 \pm 6
ESP R3 (15)	1155 \pm 15	1067 \pm 12	2252 \pm 21	55 \pm 3	424 \pm 3
ESP R4 (3)	906 \pm 32	654 \pm 23	2280 \pm 28	54 \pm 3	594 \pm 11



Ραδιενέργεια τεφρών από τον ΑΗΣ-Β Μεγαλοπολης (Bq/kg)

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας





Λόγοι $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$ and $^{238}\text{U}/^{226}\text{Ra}$ στις τέφρες του ΑΗΣ-Β Μεγαλοπολης

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Θέση δειγματοληψίας	Δείγματα	$^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$	$^{238}\text{U}/^{226}\text{Ra}$
ECONOMIZER	12	0.63 ± 0.09	0.89 ± 0.04
LUVO	15	0.60 ± 0.05	0.89 ± 0.03
ESP Left line 1 st row	27	1.21 ± 0.23	0.98 ± 0.07
ESP Left line 2 nd row	16	1.93 ± 0.18	1.05 ± 0.05
ESP Left line 3 rd row	13	2.13 ± 0.43	1.16 ± 0.07
ESP Left line 4 th row	4	3.12 ± 0.22	1.23 ± 0.05
ESP Right line 1 st row	29	1.32 ± 0.24	0.99 ± 0.06
ESP Right line 2 nd row	22	1.94 ± 0.43	1.04 ± 0.07
ESP Right line 3 rd row	15	2.12 ± 0.42	1.08 ± 0.04
ESP Right line 4 th row	3	3.47 ± 0.18	1.37 ± 0.13



Εκροή ραδονίου από τις τέφρες του ΑΗΣ-Β Μεγαλόπολης

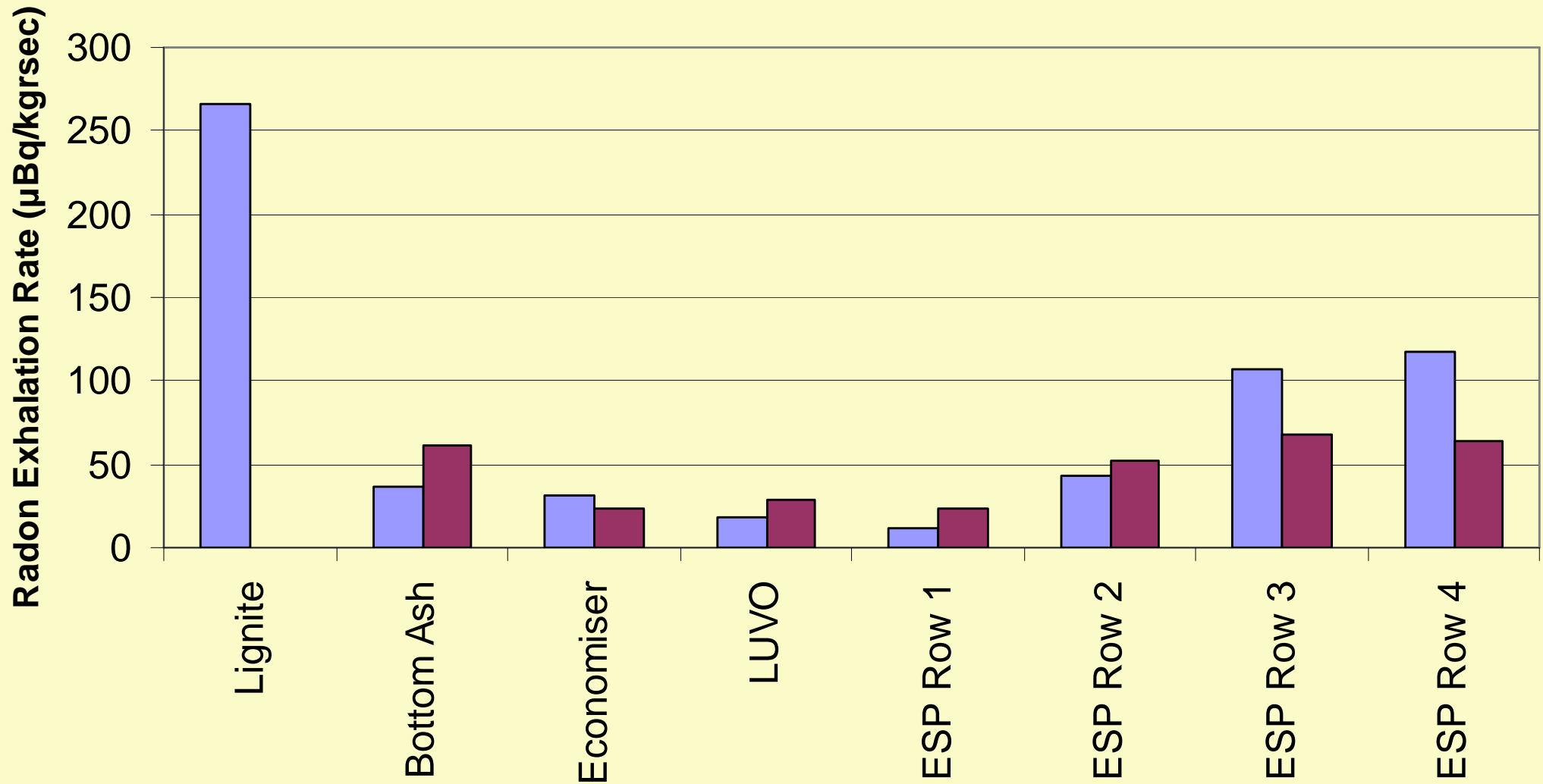
Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Θέση δειγματοληψίας	Μέση διάμετρος (μm)	^{226}Ra (Bqkg^{-1}) \pm std err (%)	^{222}Rn exhalation $\mu\text{Bqs}^{-1}\text{kg}^{-1}$	^{222}Rn exhalation $\text{nBqs}^{-1}/\text{Bq}^{226}\text{Ra}$
ECO.	283	856 \pm 4	24	28
ECO.	271	763 \pm 1	19	25
LUVO	287	874 \pm 1	14	16
LUVO	316	853 \pm 1	23	27
ESP-row 1	266	932 \pm 2	17	18
ESP-row 1	190	663 \pm 2	23	35
ESP-row 2	43	980 \pm 2	38	39
ESP-row 2	22	1030 \pm 2	45	44
ESP-row 3	96	1155 \pm 2	76	66
ESP-row 3	21	1176 \pm 2	64	54
ESP-row 4	18	938 \pm 2	113	121
ESP-row 4	21	932 \pm 3	64	69



Εκροή ραδονίου από τις τέφρες του ΑΗΣ-Β Μεγαλόπολης

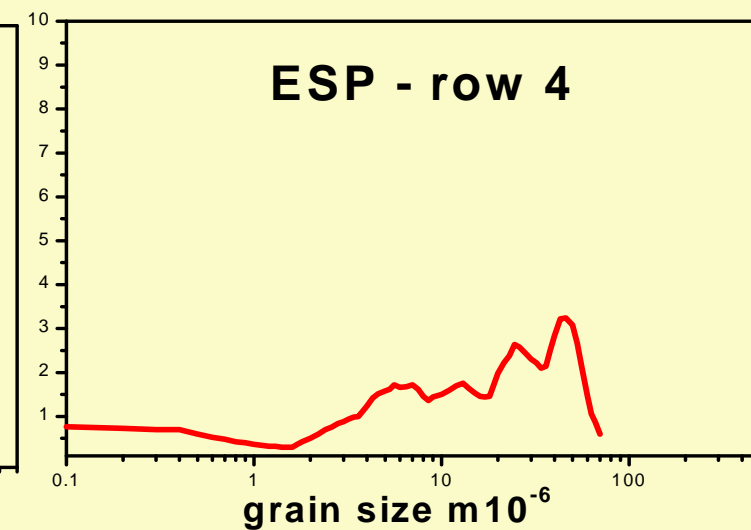
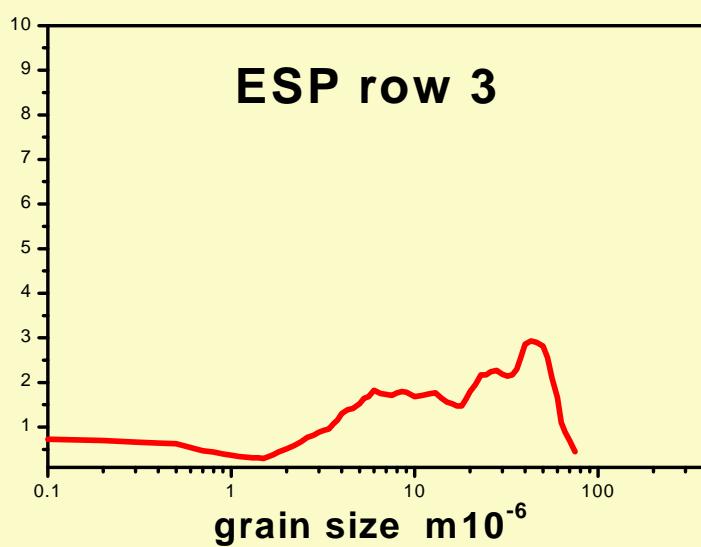
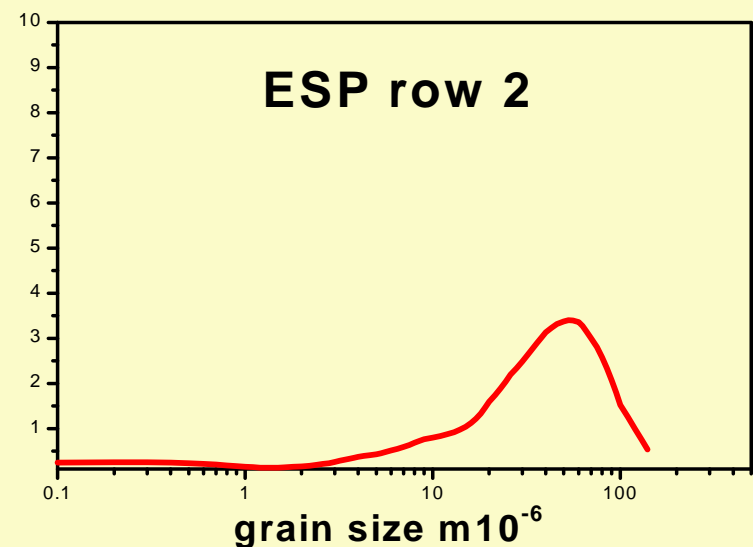
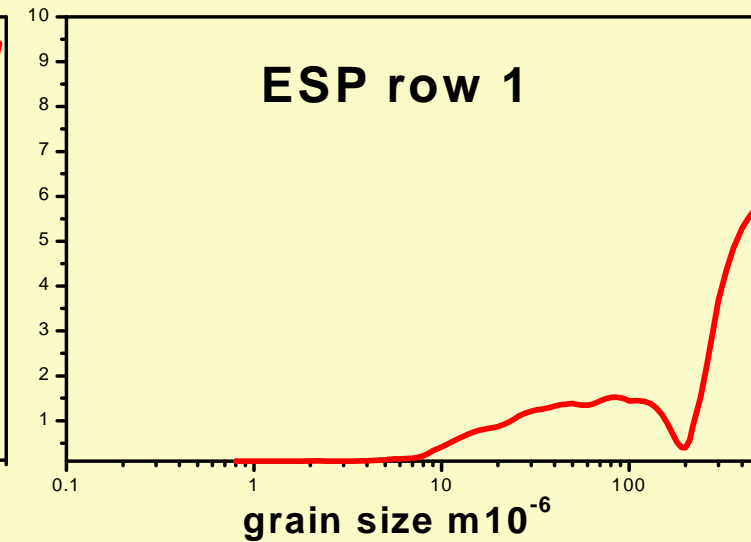
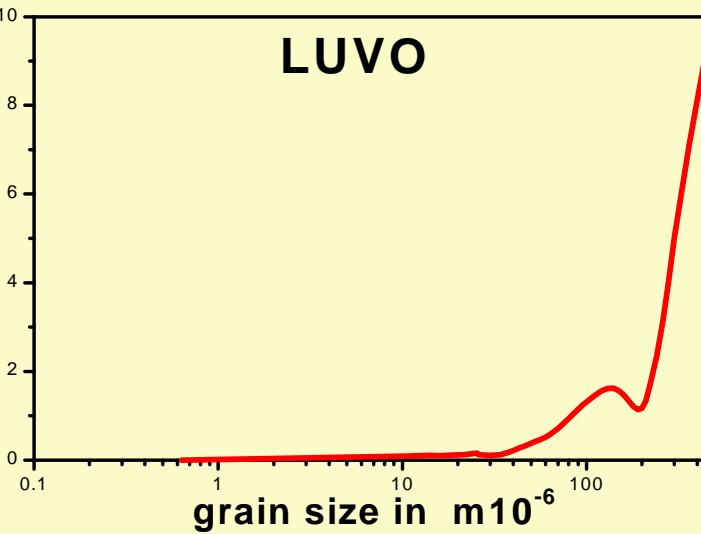
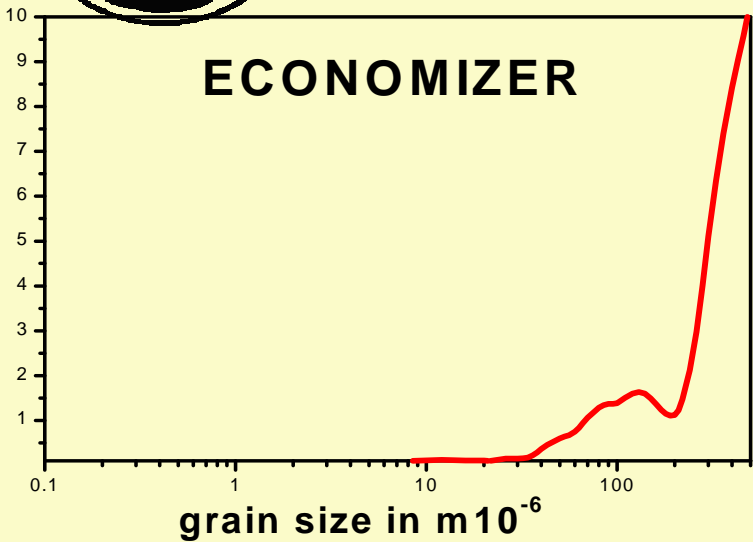
Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας





Κοκκομετρία των τεφρών του ΑΗΣ-Β Μεγαλοπολης

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας





Τυπικές τιμές ραδιενέργειας τεφρών από καύση ορυκτών καυσίμων.

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Material	^{238}U	^{232}Th	^{228}Th	^{228}Ra	^{226}Ra	^{210}Pb	^{210}Po	^{40}K
Escaping fly ash (coal)	200	70	110	130	240	930	1700	265
Bottom ash/ fly ash (coal) [1]	240/200	240/200			240/200	151/220	138/220	653/670
Peat fly ash [2]	268- 1048				<215			<1480



Ρύπανση από λιγνιτικό ΑΗΣ

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας



Παλιές Αποθέσεις
τέφρας →



Τυπικές ετήσιες εκπομπές ραδιενεργών ισοτόπων (GBq/MWe) από τυπικούς θερμικούς σταθμούς

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

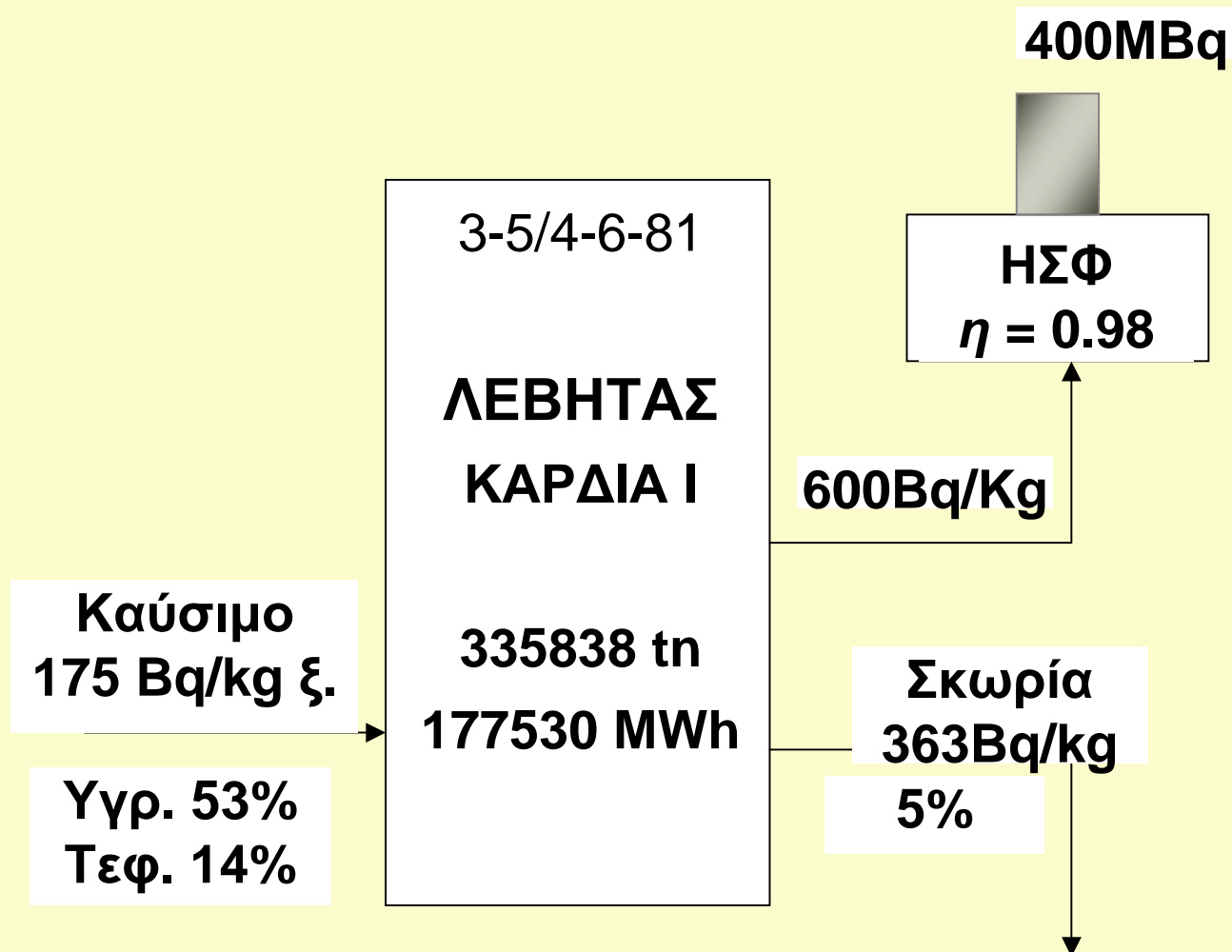
Plant	^{238}U	^{232}Th	^{226}Ra	^{222}Rn	^{210}Pb	^{210}Po
Coal-fired power plant (600 MW e)	0.16	0.08	0.11	34	0.4	0.8
Gas-fired power plant (400 MW e)	-	-	-	230	-	-

[UNSCEAR 2000 from Leenhouts, 1996]



Συγκεντρώσεις και διαφυγές ^{226}Ra από τον ΑΗΣ-Ι Καρδιας

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας





Χρήσεις της ιπτάμενης τέφρας

Η ιπτάμενη τέφρα είναι δυνατόν να βρει πολλές εφαρμογές και για το λόγο αυτό πρέπει να θεωρείται παραπροϊόν βιομηχανικής διεργασίας (καύσης του λιγνίτη) και όχι απόβλητο. Ορισμένες εφαρμογές της είναι:

- Δομικές κατασκευές (πρόσθετο στην παραγωγή τσιμέντων και μπετόν, πλίνθων και κεραμικών ειδών)
- Οδοποιία (θεμελίωση οδοστρωμάτων, αδρανές υλικό, ειδικά κονιάματα.
- Βιομηχανία (πλαστικών, χρωμάτων, ως φορέας καταλυτών)
- Γεωργία (εξουδετέρωση όξινων εδαφών)
- Επεξεργασία βιομηχανικών ποβλήτων
- Ανάκτηση ιχνοστοιχείων (πχ Al, Fe, Ti, K, P, U, Ge, As)
- Τεφροκονία
- Φυσική αποθείωση καυσαερίων
- Κατεργασία υγρών βιομηχανικών αποβλήτων (πχ κατακρήμνιση μολύβδου)



Η αξιοποίηση της ιπτάμενης τέφρας στην Ευρώπη

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Σε ορισμένες χώρες γίνεται σε πολύ μεγάλο βαθμό αξιοποίηση της παραγόμενης ιπτάμενης τέφρας. Στη Γαλλία για παράδειγμα, σχεδόν όλη η παραγόμενη ιπτάμενη τέφρα αξιοποιείται

Κατά μέσον όρο ετήσια παραγωγή και χρήση ιπτάμενης τέφρας στη Γαλλία για τα έτη 1996-2001

	kt.y ⁻¹	%
Use		
Concrete + prefabricated material	749	42
Cements	425	24
Road works	392	22
Embankments	157	9
Other	79	3
Total	1802	100
Production	1930	



Η αξιοποίηση της ιπτάμενης τέφρας στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα η χρήση της ιπτάμενης τέφρας περιορίζεται κυρίως στη βιομηχανία παραγωγής τσιμέντου, η οποία απορροφά λιγότερο από το 20% της ετήσιας παραγωγής τέφρας. Η τέφρα προστίθεται στο τσιμέντο ως αδρανές, σε ποσοστό περί το 10%. Ένας από τους λόγους που η χρήση της είναι σχετικά περιορισμένη είναι η σχετικά υψηλή συγκέντρωσή της σε θειϊκά. Περιορισμένη εφαρμογή έχει γίνει στο παρελθόν και σε οικοδομικά έργα, ενώ πρόσφατα χρησιμοποιήθηκε σε μεγάλες ποσότητες για την κατασκευή του φράγματος της Πλατανόβρυσης στο Νέστο. Ειδικά για την κατασκευή αυτή χρειάσθηκε να κατασκευασθεί στην Πτολεμαΐδα εργοστάσιο για την ομογενοποίηση της τέφρας.





Ετήσιες διαφυγές στον αέρα φυσικών ραδιενεργών ισοτόπων από ένα εργοστάσιο παραγωγής τσιμέντου

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Λόγω της χρήσεως στη βιομηχανία παραγωγής τσιμέντου υποπροϊόντων βιομηχανικών διεργασιών, κυρίως ιπτάμενης τέφρας από θερμικούς σταθμούς.

Nuclides	GBq
^{238}U	0.2
^{228}Th	0.05
^{226}Ra	0.2
^{222}Rn	157
^{210}Pb	0.2
^{210}Po	78
^{40}K	0.4

[Leenhouts et al, 1996]

* Για μία ετήσια παραγωγή 2000 kt τσιμέντο το χρόνο

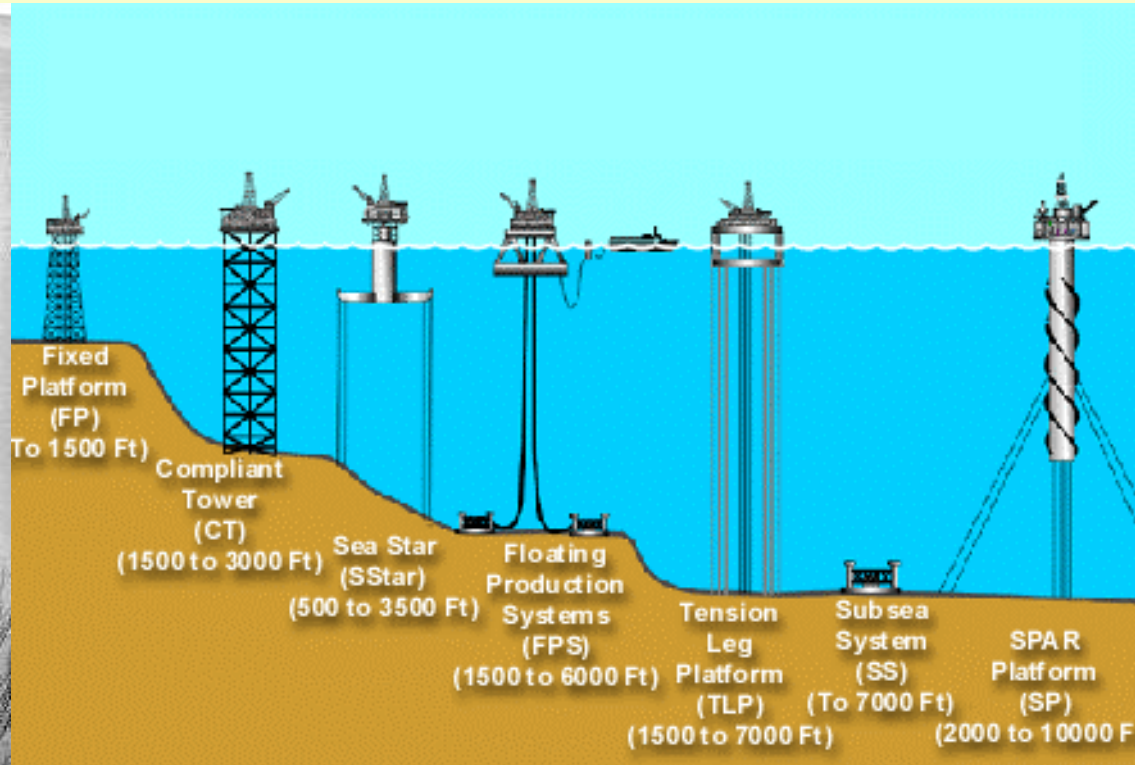


2.2.5 Δημιουργία *TENORM* στη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου



Εξόρυξη πετρελαίου

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας



Υποθαλάσσια εξόρυξη

Επίγεια εξόρυξη



Υλικά TENORM κατά την εξόρυξη πετρελαίου

Το πρόβλημα της δημιουργίας TENORM υλικών στην εξόρυξη παραγωγή και επεξεργασία του πετρελαίου και του φυσικού αερίου είναι παγκόσμιο. Εκτιμάται ότι μόνο για τις ΗΠΑ το 30% των εγχώριων πηγαδιών εξορύξεως συνδέεται με την παράλληλη δημιουργία υλικών TENORM. Τα TENORM υλικά τα οποία παράγονται κατά την εξόρυξη πετρελαίου είναι κυρίως:

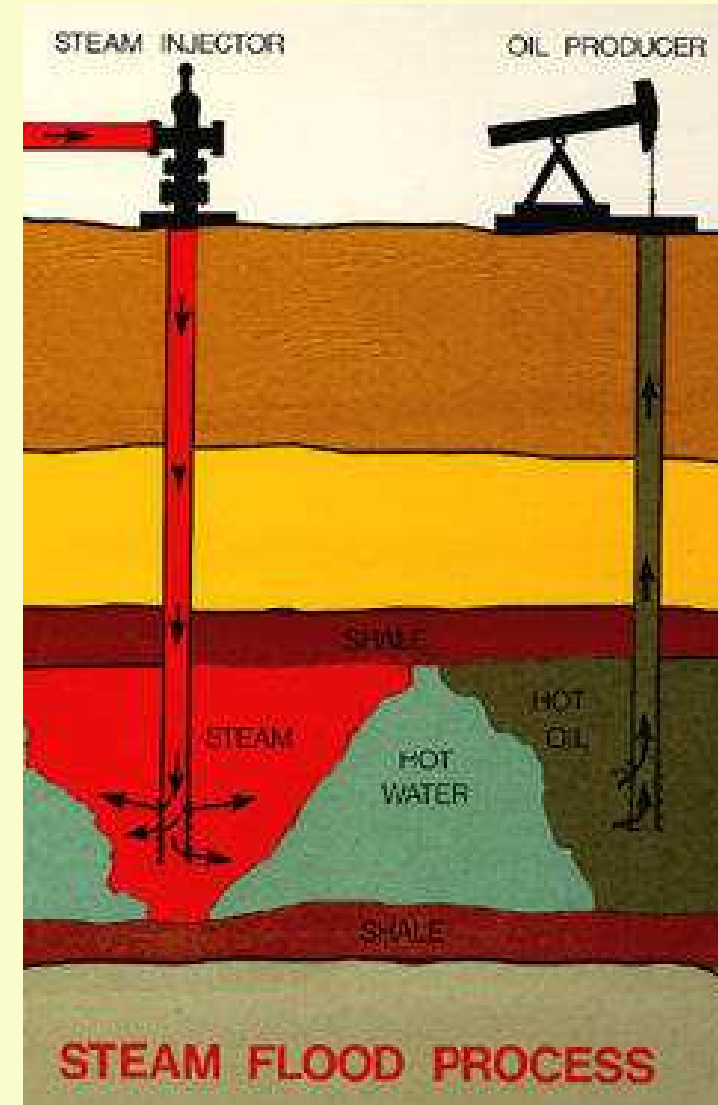
- Σκωρία (scale) που σχηματίζεται μέσα στις σωληνώσεις και η οποία για το 1989 εκτιμήθηκε στις ΗΠΑ ότι ανήλθε σε περίπου 25,000 MT και
- Λάσπη (sludge) που κατακάθεται σε σωληνώσεις και δεξαμενές και η οποία για το 1989 εκτιμήθηκε στις ΗΠΑ ότι ανήλθε σε 250,000 MT.



Διαδικασία εξόρυξης του πετρελαίου

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Καθώς το πετρέλαιο εξορύσσεται οι ενώσεις αυτές παραμένουν συνήθως στο υπόγειο κοίτασμα. Καθώς η πίεση στο κοίτασμα μειώνεται λόγω της εξόρυξης, νερό εισέρχεται προς το κοίτασμα και αρχίζει να εξορύσσεται μαζί με το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Σε ορισμένες περιπτώσεις όπου το πετρέλαιο είναι πολύ παχύρευστο και δεν είναι δυνατή η εξόρυξή του συμπιέζεται στο κοίτασμα ατμός προκειμένου να μειωθεί το ιξώδες και να είναι δυνατή η άντληση.





Σχηματισμός υλικών TENORM κατά τη εξόρυξη πετρελαίου και φυσικού αερίου

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Οι ενώσεις του ουρανίου και του θορίου είναι ως επί το πλείστον αδιάλυτες και δεν εμφανίζονται σε αξιόλογες συγκεντρώσεις στο πετρέλαιο. Ορισμένες από τις ενώσεις του ραδίου και των θυγατρικών του που είναι ελαφρώς διαλυτές στο νερό έρχονται στην επιφάνεια μαζί με το νερό. Τα ιζήματα που σχηματίζονται στη συνέχεια σε δεξαμενές, σωληνώσεις κλπ, συνίστανται κυρίως από θειϊκό βάριο (BaSO_4), θειϊκό ασβέστιο (CaSO_4), και ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3). Λόγω της χημικής συγγένειας του ραδίου με το ασβέστιο και το βάριο, αυτό μπορεί να καθιζάνει συγχρόνως σχηματίζοντας σύνθετες θειϊκές και ανθρακικές ενώσεις.



Σχηματισμός υλικών TENORM κατά τη εξόρυξη πετρελαίου και φυσικού αερίου

Η ποσότητα των υλικών TENORM (σκωρία και λάσπη) τα οποία παράγονται κατ' αυτόν τον τρόπο εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

- Ποσότητα του νερού που αντλείται στη γεώτρηση.
- Αρχική συγκέντρωση των ενώσεων του ραδίου μέσα στο κοίτασμα (η οποία παρουσιάζει πολύ μεγάλη κύμανση και εξαρτάται από τη γεώτρηση)

Ειδικά για τη σκωρία, είναι εν γένει αδιάλυτη στο νερό και μπορεί να δημιουργήσει στρώματα μεγάλου πάχους, σε σημείο που να σταματήσει εντελώς τη ροή μέσα σε σωλήνες διαμέτρου ως και 4".



Ραδιενέργεια υλικών TENORM που παράγονται κατά την εξόρυξη πετρελαίου και φυσικού αερίου

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Ισότοπο	Μέσες τιμές ραδιενέργειας σε Bq g ⁻¹	
	Λάσπη	Σκωρία
²²⁶ Ra	2	13
²¹⁰ Pb	2	13
²¹⁰ Po	2	13
²²⁸ Ra	0.7	4.4
²²⁸ Th	0.7	4.4



Σχηματισμός υλικών TENORM κατά τη εξόρυξη πετρελαίου και φυσικού αερίου

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Το προϊόν της εξόρυξης (πετρέλαιο με νερό και ενδεχομένως αέριο) διαχωρίζεται με βάση την πυκνότητά του σε διαχωριστές όπου και παραμένουν τα περισσότερα αιωρούμενα στερεά. Σε ορισμένες περιπτώσεις, για το διαχωρισμό πετρελαίου νερού και λάσπης χρειάζεται και επιπλέον θερμική επεξεργασία σε θερμαντήρες. Στη φάση αυτή του διαχωρισμού παράγεται μεγάλη ποσότητα λάσπης. Το παραγόμενο από τη διαδικασία διαχωρισμού νερό αποθηκεύεται σε δεξαμενές ή οδηγείται σε πηγάδια απόθεσης (ή και πίσω στη πηγάδι γεώτρησης).



Σχηματισμός σκωρίας TENORM

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Η σκωρία συνήθως εντοπίζεται σε σωληνώσεις νερού και πετρελαίου, φίλτρα, βαλβίδες, αντλίες κλπ. Η συγκέντρωση του ^{226}Ra στη σκωρία που αποτίθεται στις σωληνώσεις οι οποίες βρίσκονται στην έξοδο του πηγαδιού εξόρυξης, μπορεί σε ακραίες περιπτώσεις να φτάνουν και τις αρκετές εκατοντάδες Bq g^{-1} . Η συγκέντρωση του ^{226}Ra στο διαχωριστή είναι εν γένει χαμηλότερη (της τάξης του $\sim 1/10$) και στους θερμαντήρες ακόμα χαμηλότερη (της τάξης του $\sim 1/100$). Επισημαίνεται ότι ο μεγαλύτερος όγκος της σκωρίας προέρχεται από τις σωληνώσεις των διαχωριστών, θερμαντήρων και αφυγραντών του φυσικού αερίου.



Σχηματισμός λάσπης TENORM

Η προέλευση της TENORM λάσπης είναι παρόμοια με αυτή της σκωρίας. Καθώς το νερό υπόκειται σε μεταβολές της θερμοκρασίας και πίεσης, οι ενώσεις οι οποίες βρίσκονται σε διάλυση (μεταξύ των οποίων είναι δυνατόν να βρίσκονται και ενώσεις του ουρανίου, αλλά κυρίως του ραδίου και του θορίου) είναι δυνατόν να καθιζάνουν υπό μορφή λάσπης. Ένα τμήμα της λάσπης αποτίθεται στο διαχωριστή νερού πετρελαίου, ενώ ένα άλλο τμήμα αποτίθεται στους θερμαντήρες (heater/treaters). Το μεγαλύτερο τμήμα της λάσπης παραμένει στις δεξαμενές όπου τελικά αποτίθεται το πετρέλαιο και το νερό.



Σχηματισμός υλικών TENORM κατά την επεξεργασία φυσικού αερίου

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Υλικά TENORM δημιουργούνται και αποτίθενται και σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας φυσικού αερίου. Στην περίπτωση αυτή κυρίαρχο ρόλο παίζει ραδόνιο και τα θυγατρικά του. Παρόλο που το ^{226}Ra έχει ήδη απομακρυνθεί, το ^{222}Rn συγκεντρώνεται στο υγροποιημένο αέριο (liquid petroleum gas LPG) κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας του. **Η περιεκτικότητα του φυσικού αερίου σε ραδόνιο μπορεί να φτάσει τα 50 Bq/lt.** Οι αποθέσεις που σχηματίζονται στην περίπτωση αυτή είναι διαφορετικές, αποτελούμενες κυρίως από τα θυγατρικά του ραδονίου ^{210}Po και ^{210}Pb και ανευρίσκονται στο εσωτερικό σωληνώσεων, βαλβίδων κλπ.





Δόσεις σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας πετρελαίου και αερίου

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας πετρελαίου και φυσικού αερίου στις οποίες παράγονται υλικά TENORM, έχουν μετρηθεί σε ακραίες περιπτώσεις ρυθμοί δόσης λόγω γ-ακτινοβολίας έως και ~ 9 $\mu\text{Sv/h}$

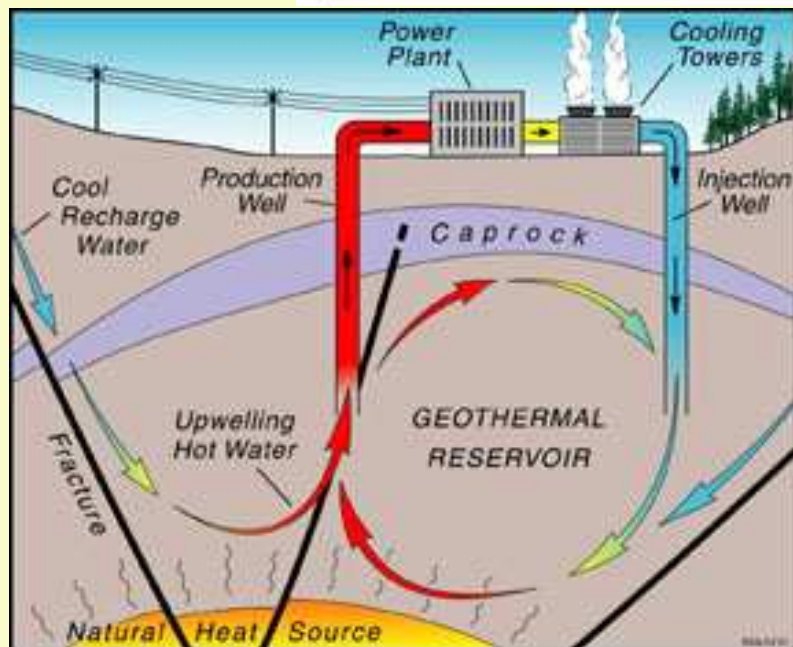
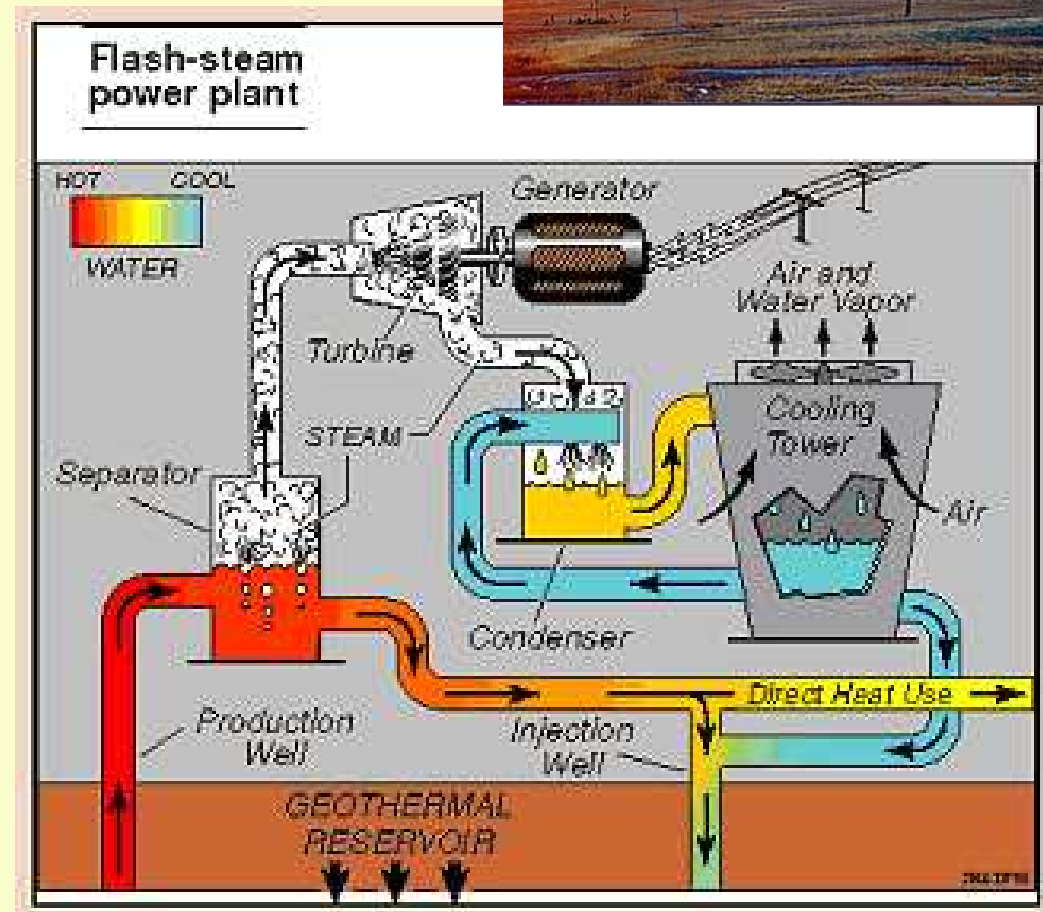
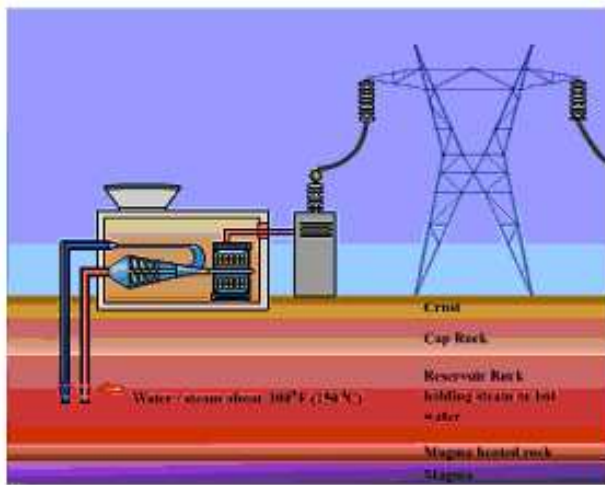


2.2.6 Δημιουργία *TENORM* κατά την παραγωγή γεωθερμικής ενέργειας



Παραγωγή γεωθερμικής ενέργειας

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας





Δημιουργία TENORM κατά την παραγωγή γεωθερμικής ενέργειας

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Τα γεωθερμικά ρευστά είναι δυνατόν να περιέχουν σε διάλυση στερεά σε πολύ υψηλά ποσοστά έως και 30% κατά βάρος. Υλικά TENORM δημιουργούνται κατά το σχηματισμό ιζημάτων. Ενδεικτική τιμή της ραδιενέργειας ^{226}Ra των στερεών αυτών είναι της τάξης των 5 kBq kg^{-1} . Επιπλέον σχηματίζονται κατά την απόπλυση εξοπλισμού, φίλτρων σωληνώσεων, αντλιών κλπ. Στο γεωθερμικό ρευστό υπάρχει επιπλέον σε διάλυση ραδόνιο το οποίο απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα στο χώρο της εγκατάστασης.



2.2.7 Δημιουργία TENORM στη βιομηχανία φωσφορικών λιπασμάτων



Βιομηχανία φωσφορικών

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Η βιομηχανία φωσφορικών είναι είναι πολύ μεγάλη βιομηχανία διεθνώς. Μόνον στις ΗΠΑ εκτιμάται ότι είναι η πέμπτη βιομηχανία σε έκταση , όσον αφορά στην ποσότητα του ορυκτού που εξορύσσεται. Η πρώτη ύλη (φωσφατικά ορυκτά -phosphate) υφίσταται επεξεργασία προκειμένου να παραχθούν ως τελικό προϊόν φωσφορικά λιπάσματα, φωσφορικό οξύ και στοιχειακός φωσφόρος.



Επεξεργασία φωσφορικών ορυκτών (wet process)

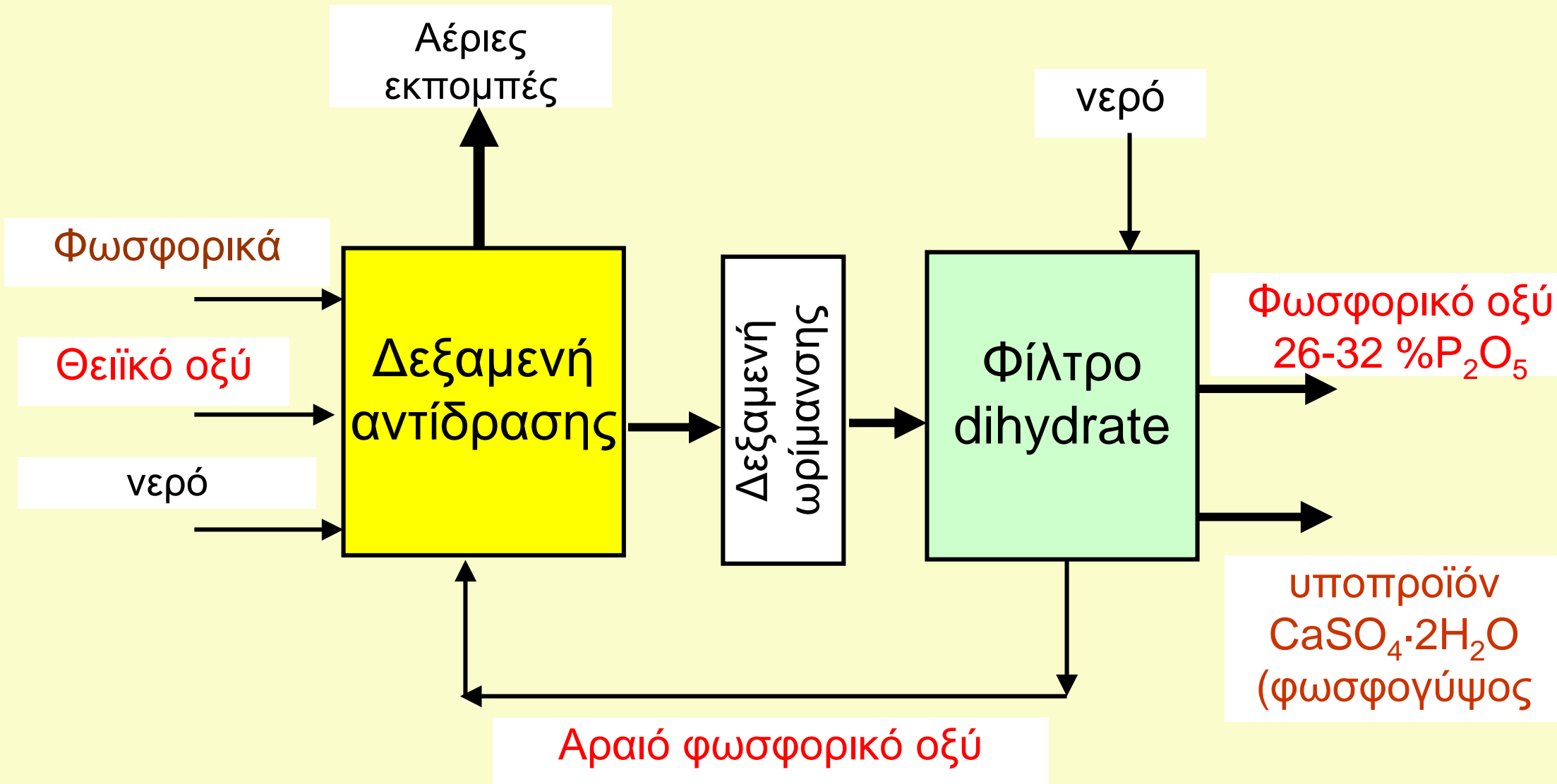
Αποσκοπεί στην παραγωγή φωσφορικών λιπασμάτων, στοιχειακού φωσφόρου και φωσφορικού οξέως.

Η συνήθως χρησιμοποιούμενη διαδικασία είναι γνωστή ως “wet process ή dihydrate process” και συνίσταται στην επεξεργασία της πρώτης ύλης με οξέα (νιτρικό, υδροχλωρικό ή θειϊκό).

- Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι δεν απαιτείται ξήρανση της πρώτης ύλης με αποτέλεσμα χαμηλές θερμοκρασίες κατά την διεργασία και οικονομία, επιπλέον δεν τίθενται περιορισμοί ως προς την ποιότητα της πρώτης ύλης.
- Μειονέκτημα της μεθόδου θεωρείται η σχετικά χαμηλή συγκέντρωση του παραγομένου φωσφορικού οξέως 26-32%, για τη συγκέντρωση του οποίου απαιτείται επιπλέον στάδιο και κατανάλωση ενέργειας.



Επεξεργασία φωσφορικών ορυκτών (wet process)





Βιομηχανία φωσφορικών

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας



Συμπαγωγή
φωσφορικών και
ουρανίου →



Εισαγωγή στις Τεχνολογίες Προστασίας του Περιβάλλοντος



Ενδεικτικές τιμές ραδιενέργειας: πρώτης ύλης – προϊόντων και παραπροϊόντων βιομηχανίας φωσφορικών

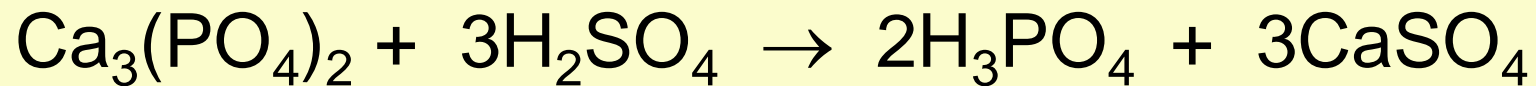
Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

MATERIAL/PROCESS	Radionuclide	Activity Concentration Bq kg ⁻¹
Ore ⁷ [1]	²³⁸ U+	1 400
	²³² Th	160
	²²⁶ Ra+	1 400
	²¹⁰ Pb+	1 400
Sulphuric Acid Process		
Phosphogypsum [1]	²³⁸ U+	200
	²³² Th	17
	²²⁶ Ra+	850
	²¹⁰ Pb+	200
Hydrochloric Acid Process		
Calcium Fluoride (solid) with radium sulphate precipitate (from BaCl ₂ precipitate step) [2]	²²⁶ Ra	8 000-10 000
Calcium Chloride (effluent) [2]	²²⁶ Ra	2 Bq/l
Nitric Acid Process		
Calcium carbonate (recycled)	NK	NK
Thermal Process		
Calcium Silicate Slag [1]	²³⁸ U+	2 700
	²³² Th	310
	²²⁶ Ra+	2 300
	²¹⁰ Pb+	270
Calcined dust [1]	²¹⁰ Pb+	1 600 000



Παραγωγή φωσφορικού οξέως και φωσφογύψου

Η χημική αντίδραση που πραγματοποιείται είναι η



κατά την οποία παράγεται αραιό φωσφορικό οξύ (26-32%) και αδιάλυτο άλας CaSO_4 το οποίο αποτελεί παραπροϊόν της διεργασίας (φωσφογύψος).

Τυπική παραγωγή φωσφογύψου είναι 5τόνοι/τόνο προϊόντος
Ακολουθεί άλλο στάδιο συγκέντρωσης του φωσφορικού οξέως.



Φωσφογύψος

Συνήθως αποτίθεται κοντά στο χώρο παραγωγής του. Μικρότερες ποσότητες χρησιμοποιούνται από τη βιομηχανία οικοδομικών υλικών (γυψοσανίδες) καθώς και ως βελτιωτικό εδαφών λίπασμα). Το μεγαλύτερο πρόβλημα που συνδέεται με την παραγωγή του φωσφογύψου προέρχεται από το γεγονός ότι έχει υψηλή οξύτητα και ότι συγκεντρώνονται σε αυτόν οι προσμίξεις που υπάρχουν στο πρωτογενές υλικό (όπως As, Cu, Pb, Ni, Zn, Hg κλπ). Τη μεγαλύτερη σημασία από τις προσμίξεις αυτές την έχουν τα φυσικά ραδιενεργά ισότοπα που περιέχονται στην πρώτη ύλη (κυρίως ^{238}U και ^{226}Ra). Για το λόγο αυτό **ο φωσφογύψος χαρακτηρίζεται ως υλικό TENORM. Μέγιστη επιτρεπτή τιμή ^{226}Ra για απόθεση σε καλλιεργούμενο χωράφι 780Bqkg^{-1} .**



Ραδιενέργεια φωσφογύψου και φωσφορικού οξέως

Κατά την παραγωγή φωσφορικού οξέως σημειώνεται εκλεκτικός διαχωρισμός και συγκέντρωση των διαφόρων ραδιενεργών ισοτόπων στα προϊόντα και παραπροϊόντα.

Περί το 80% του ^{226}Ra βρίσκεται τελικά στον φωσφογύψο. Αντίθετα, περί 85% του ουρανίου και περί το 70% του θορίου βρίσκονται τελικά στο φωσφορικό οξύ. Ω συνέπεια παρατηρείται σημαντική διαταραχή της ραδιενεργού ισορροπίας τόσο στα προϊόντα όσο και στα υποπροϊόντα της διεργασίας. Τυπικές συγκεντρώσεις του ^{226}Ra στον φωσφογύψο είναι $400\text{-}1300 \text{ Bqkg}^{-1}$. Τυπικές τιμές ρυθμού δόσης λόγω γ -ακτινοβολίας, από $\sim 0.174 - 0.87 \mu\text{Sv/h}$



Φωσφορικά λιπάσματα

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Τα φωσφορικά λιπάσματα είναι ένα από τα τελικά προϊόντα της βιομηχανίας φωσφορικών. Παράγονται με ανάμιξη του φωσφορικού οξέως με την πρώτη ύλη (φωσφατικά) και με προσθήκη αμμωνίας και αλάτων του καλίου για την κατασκευή διαφόρων τύπων λιπασμάτων. Η περιεκτικότητά τους σε ραδιενεργά ισότοπα εξαρτάται από τον τύπο του λιπάσματος και τη διαδικασία παραγωγής. Τυπικές συγκεντρώσεις είναι για ^{226}Ra 180-750 Bqkg^{-1} , ^{238}U 740-2200 Bqkg^{-1} και ^{232}Th 35-180 Bqkg^{-1}

Εκτιμάται ότι η χρήση λιπάσματος οδηγεί σε αύξηση της εξωτερικής δόσης λόγω γ -ακτινοβολίας κατά ~ 25% έναντι αυτής λόγω φυσικής ραδιενέργειας στο έδαφος.



Παραγωγή φωσφορικού οξέως λιπασμάτων και παραπροϊόντων

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

φωσφατικά $Bqkg^{-1}$
 ^{226}Ra 1400 ^{238}U 1184

Εργοστάσιο φωσφορικού οξέως

ΟΞΕΙΔΩΣΗ

θειϊκό οξύ

ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΑ

Οξικό οξύ ^{226}Ra
37 ^{238}U 1110 $Bqkg^{-1}$

φωσφογύψος ^{226}Ra
962 ^{238}U 37 $Bqkg^{-1}$

Απόθεση

ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

Αγορά

Εργοστάσιο φωσφορικών λιπασμάτων

Λίπασμα ^{226}Ra 740 ^{238}U 2110 $Bqkg^{-1}$

Λίπασμα ^{226}Ra
148 ^{238}U 2590 $Bqkg^{-1}$

Αμμωνία

Αγορά

ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

Αγορά



Ποτάσα

Ένα άλλο υλικό το οποίο χρησιμοποιείται ως λίπασμα είναι η ποτάσα, η οποία περιέχει υψηλά επίπεδα φυσικής ραδιενέργειας, κυρίως ^{40}K , καθώς αποτελείται από άλατα του καλίου (κυρίως KCl και K_2SO_4). Η ραδιενέργεια ^{40}K της ποτάσας του εμπορίου είναι της τάξης των 15 kBq kg^{-1} . Είναι φανερό ότι η ποτάσα έχει σημαντική ραδιοβιολογική σημασία λόγω της εξωτερικής δόσης λόγω γ-ακτινοβολίας (το κάλιο εκπέμπει φωτόνια 1460 keV)



Μεταφορά και απόθεση φωσφογύψου

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Οι αποθέσεις καλύπτουν τεράστιες εκτάσεις και μπορεί να έχουν ύψος ως και 70 μέτρα. Μόνο στη Φλώριδα των ΗΠΑ οι αποθέσεις υπολογίζονται σε $700 \cdot 10^6$ τόνους, ενώ κάθε χρόνο παράγονται περί τα $30 \cdot 10^6$ τόνους.



Πρόβλημα από τη ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα από ^{226}Ra και από την εκροή του ραδονίου (τυπικές τιμές $0.06 - 0.44 \text{ Bq/m}^2\text{-sec}$)



Παραγωγή P_2O_5 και φωσφορικών λιπασμάτων στην ΕΕ

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Country	P_2O_5 Production		Phosphate Fertilizer Production	
	kt y ⁻¹	% of total EU	kt y ⁻¹	% of total EU
Belgium/Luxembourg	270	14	340	14
Germany	0	0	220	9
Greece	200	11	120	5
Spain	530	28	180	7
France	250	13	930	39
Italy	250	13	330	14
Netherlands	120	6	290	12
Austria	55	3	-	-
Finland	240	12	-	-
Total EU	1 900	100	2 410	100

[Hofmann et al, 2000 (b)]

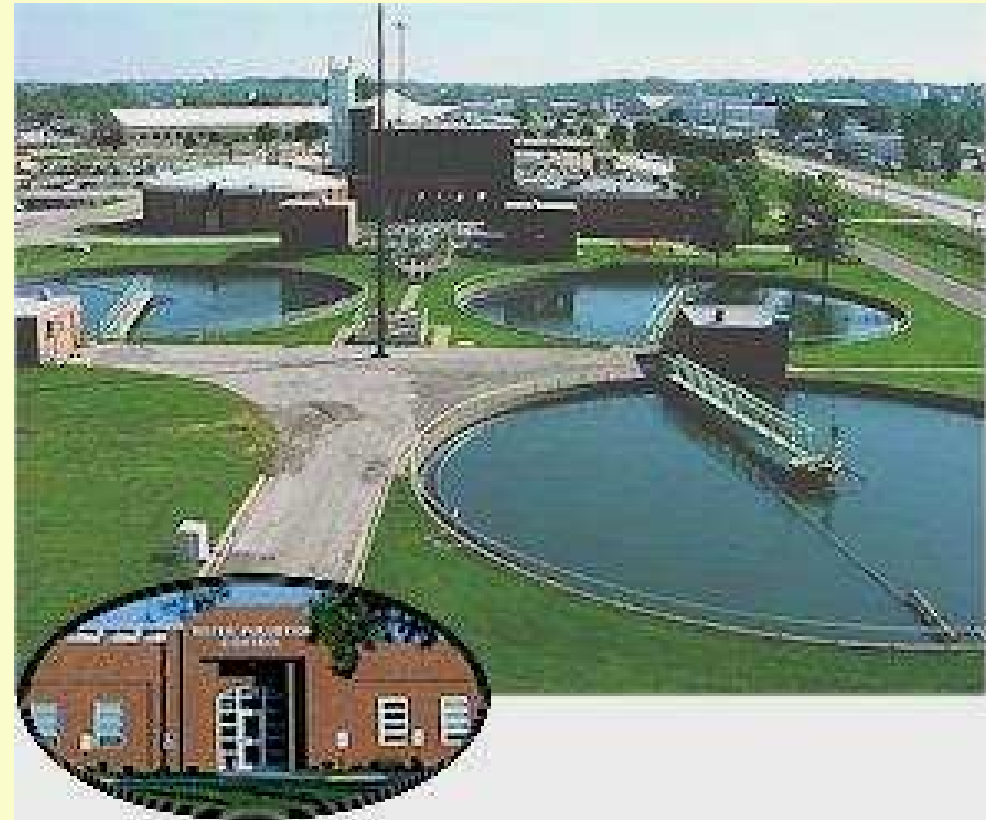


2.3.8 Δημιουργία *TENORM* κατά την επεξεργασία του νερού



Εγκαταστάσεις επεξεργασίας του νερού

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας



Εισαγωγή στις Τεχνολογίες Προστασίας του Περιβάλλοντος

II 91/169



Δημιουργία TENORM κατά την επεξεργασία του νερού

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Το νερό το οποίο προορίζεται για οικιακή χρήση προέρχεται από λίμνες, ταμιευτήρες ή υπόγεια ύδατα και ενδεχομένως περιέχει μεταξύ άλλων και φυσικά ραδιενεργά ισότοπα. Τα ισότοπα αυτά μεταφέρονται στο νερό λόγω της διήθησής του σε θοριούχα ή ουρανιούχα πετρώματα με τα οποία έρχεται σε επαφή (leaching) και είναι κυρίως το ^{238}U και τα θυγατρικά του ^{226}Ra και ^{222}Rn σε συγκεντρώσεις που ποικίλουν, ανάλογα με την προέλευση του νερού.

Η επεξεργασία του νερού συνίσταται μεταξύ άλλων στη διέλευσή του μέσα από κατάλληλα φίλτρα και στην προσθήκη χημικών ουσιών. Τα ραδιενεργά ισότοπα (εάν υπάρχουν στο νερό) συνήθως απομακρύνονται κατά τη διαδικασία του καθαρισμού και ως συνέπεια παράγονται ραδιενεργά κατάλοιπα (radioactive waste), ακόμα και αν το σύστημα καθαρισμού δεν είναι σχεδιασμένο για την απομάκρυνση ραδιενεργών ισοτόπων.



Δημιουργία TENORM κατά την επεξεργασία του νερού

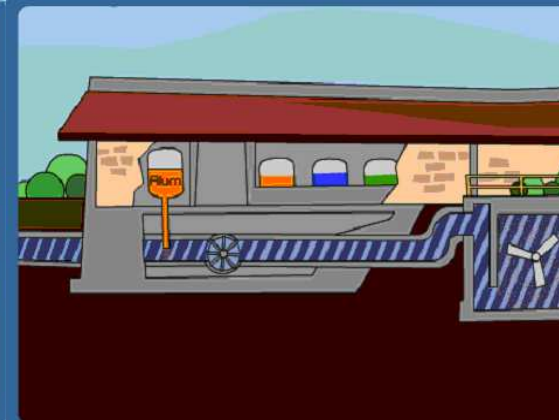
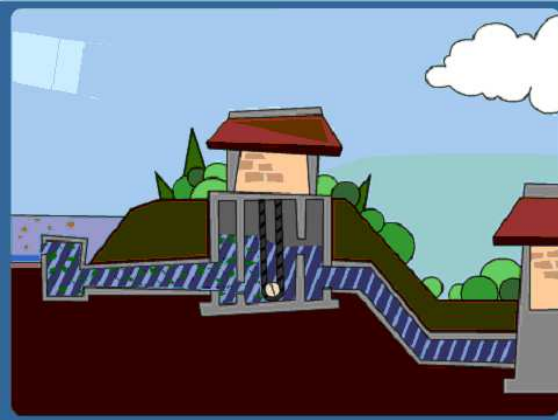
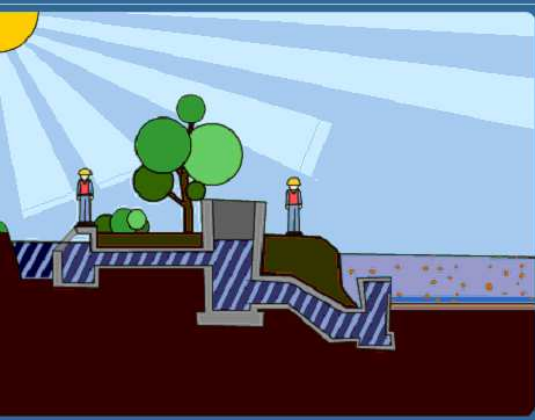
Ως κατάλοιπα μπορούν να είναι λάσπες φίλτρων, ρητίνες ιοντοανταλλαγής, ενεργός άνθρακας σε μορφή κόκκων και νερό καθαρισμού φίλτρων.

Στις ΗΠΑ, από τις περίπου 60000 μονάδες επεξεργασίας νερού εκτιμάται ότι περί τις 700 επεξεργάζονται νερό με αυξημένα επίπεδα φυσικής ραδιενέργειας και εκτιμάται ότι ετησίως παράγονται περί τους 260,000 τόνους καταλοίπων που χαρακτηρίζονται ως TENORM

- Η περιεκτικότητα των καταλοίπων σε ραδιενεργά ισότοπα εξαρτάται εν γένει από:
 - Την ποσότητα των ραδιενεργών ισοτόπων στο νερό
- Την απόδοση του συστήματος καθαρισμού
- Την ποσότητα των καταλοίπων που παράγονται ανά μονάδα καθαρού νερού.



Τυπικά στάδια επεξεργασίας νερού

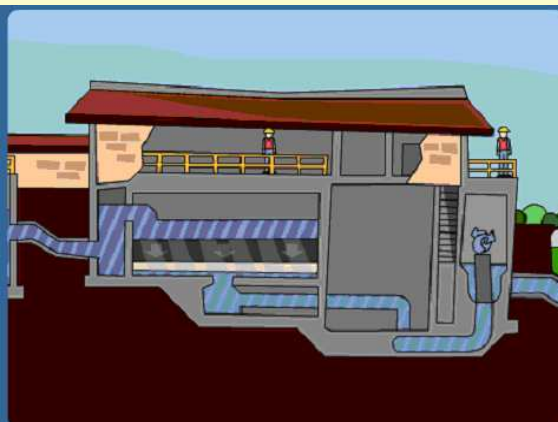
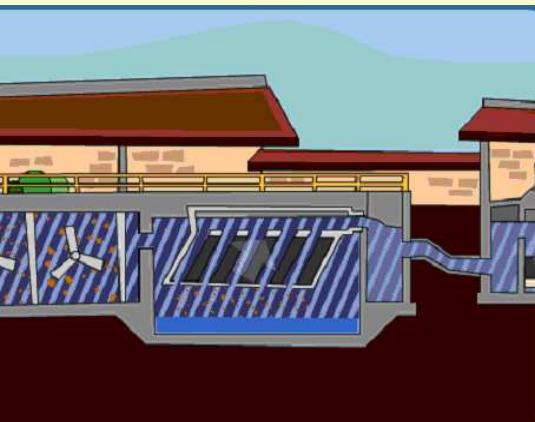


Απομάκρυνση μεγάλων
τεμαχίων (φύλλα κλπ) και
κακακάθιση μικρότερων

Απομάκρυνση μικρότερων
αιωρουμένων υλικών σε
φίλτρα

Προσθήκη χημικών που θα
διευκολύνει την κατακάθιση
των μικρότερων σωματιδίων

Ανάμιξη για σχηματισμό
μεγαλύτερων κόκκων
(flocculation)



Σχηματισμός ιζήματος

Πέρασμα από φίλτρα (άμμος
και ενεργός άνθρακας)

Χλωρίωση του νερού

Αποθήκευση και διανομή

TENORM ?



Δημιουργία TENORM κατά την επεξεργασία του νερού

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Οι παρακάτω τεχνικές επεξεργασίας του νερού ενδέχεται να έχουν ως συνέπεια την παραγωγή καταλοίπων TENORM:

- Αποσκλήρυνση του νερού (lime softening)
- Φιλτράρισμα μέσα από άμμο
- Χρήση ρητινών ιοντοανταλλαγής και φίλτρων ενεργού άνθρακα.



Δημιουργία TENORM κατά την αποσκλήρυνση του νερού

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Κατά τη διαδικασία αποσκλήρυνσης προστίθεται στο νερό CaOH το οποίο αυξάνει το pH του νερού με συνέπεια την κατακρήμνιση του ασβεστίου και μαγνησίου και την απομάκρυνσή τους με το σχηματιζόμενο ίζημα και με φίλτρα. Περί το 80-90% του περιεχομένου ραδίου στο νερό απομακρύνεται με τη διαδικασία αυτή προς το σχηματιζόμενο ίζημα. Κατά συνέπεια, το παραγόμενο ίζημα είναι ενδεχόμενο να παρουσιάζει αυξημένη συγκέντρωση σε ράδιο. Η συγκέντρωση αυτή εξαρτάται από το περιεχόμενο ράδιο, αλλά και τα υπόλοιπα συστατικά του ιζήματος.



Δημιουργία TENORM κατά την αποσκλήρυνση του νερού

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Οι ρητίνες ιοντοανταλλαγής χρησιμοποιούνται για την αποσκλήρυνση του νερού. Η ανταλλαγή κατιόντων (cation exchange) απομακρύνει περί το 95% του ραδίου, ενώ η ανταλλαγή ανιόντων περί το 95% του ουρανίου. Με τη χρήση η συγκέντρωση των ραδιενεργών ισοτόπων στη ρητίνη αυξάνει. Οι ρητίνες αυτές αφού υποστούν διαδικασία καθαρισμού (backwash) επαναχρησιμοποιούνται. Το νερό καθαρισμού εισάγεται σε νέα στήλη για καθαρισμό.

Ο ενεργό άνθρακας (activated charcoal) χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με συστήματα ιοντοανταλλαγής για την απομάκρυνση οργανικών ενώσεων και αερίων, συμπεριλαμβανομένου και του ραδονίου. Περί το 95% του ραδονίου μπορεί να απομακρυνθεί με τον τρόπο αυτό.



Δημιουργία TENORM κατά την επεξεργασία του νερού

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

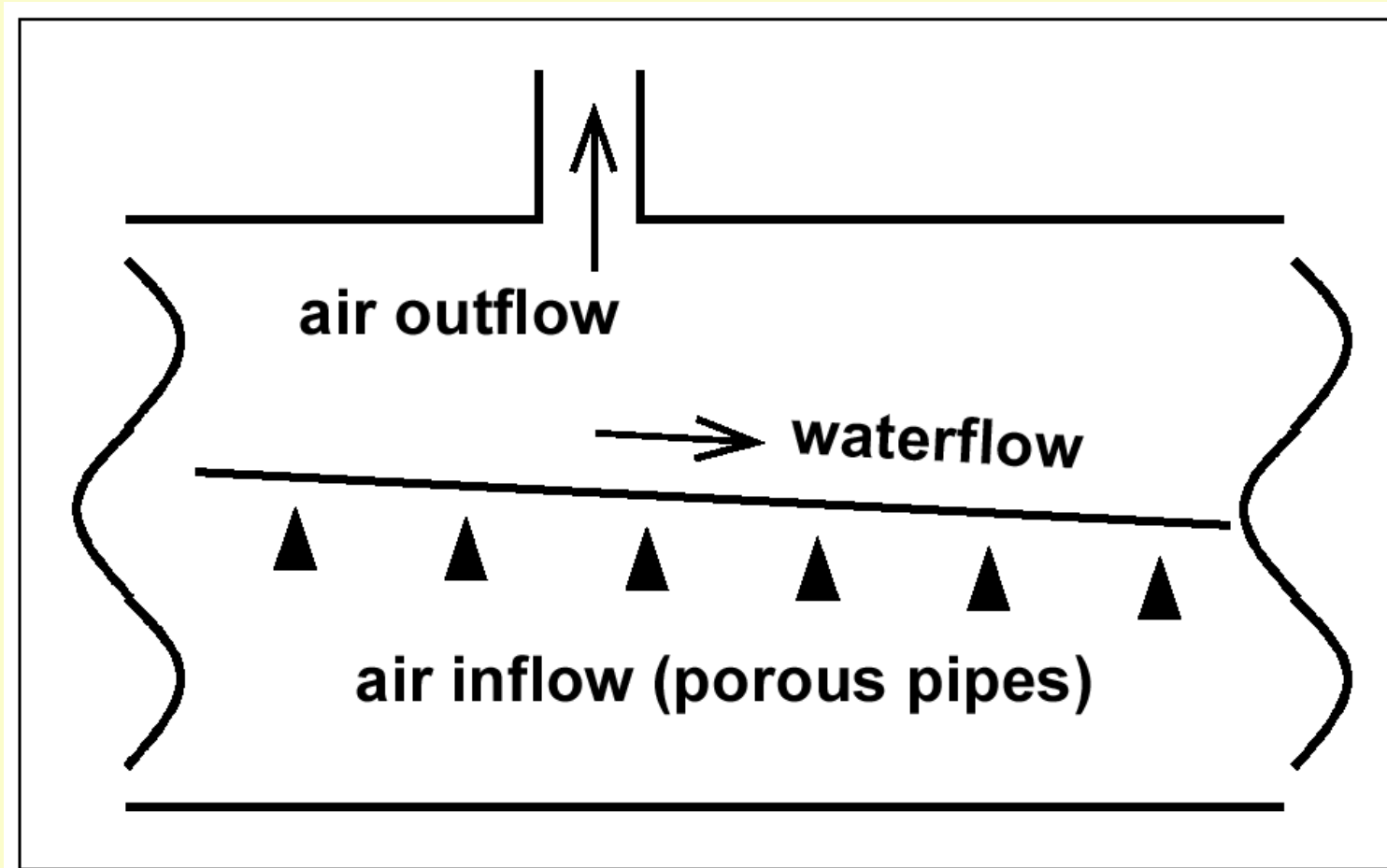
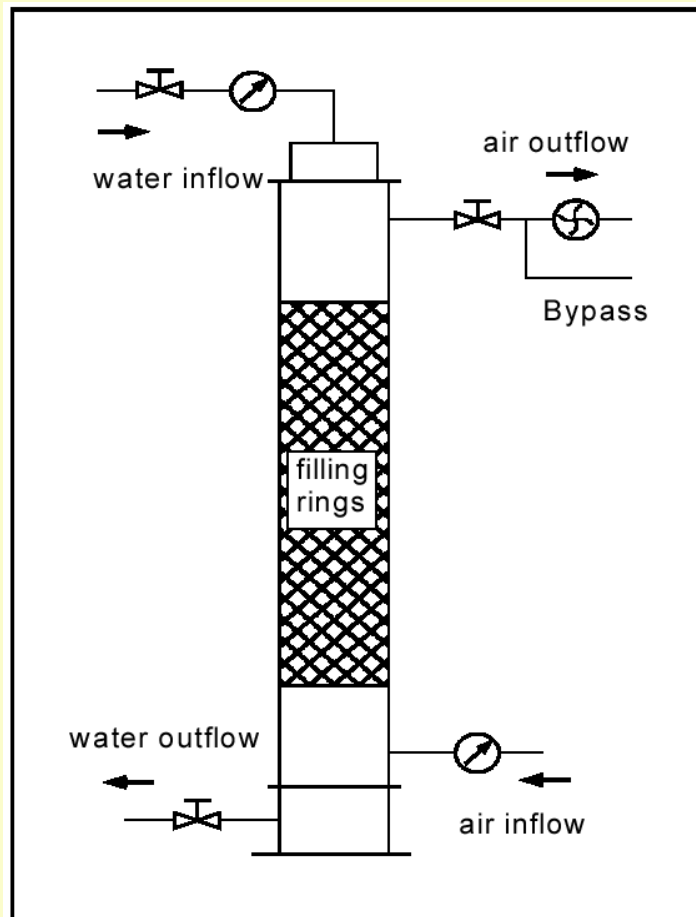
Η χρήση ρητινών έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία καταλοίπων με υψηλότερες συγκεντρώσεις ραδιενεργών ισοτόπων από ότι οι λάσπες (sludges), αλλά σε πολύ μικρότερες ποσότητες. Ενδεικτικές τιμές ραδιενέργειας ^{226}Ra για νερό αποπλύσεως στήλης ιοντοανταλλαγής είναι 12 έως 130 Bq l^{-1} . Αντίστοιχα στη ρητίνη της στήλης η ραδιενέργεια ^{226}Ra έχει μετρηθεί ως και 1500 Bqkg^{-1} .

Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται ειδικοί απορροφητές οι οποίοι είναι ιδιαίτερα αποδοτικοί στην απομάκρυνση του ραδίου, η ραδιενέργεια στα κατάλοιπα που παράγονται μπορεί να φτάνει φτάνουν σε πολύ υψηλά επίπεδα (έχουν αναφερθεί τιμές περί τα 4 MBq kg^{-1}). Κατάλοιπα τέτοιου είδους πρέπει να αντιμετωπίζονται ως low level waste.



Συστήματα απομάκρυνσης αερίων (CO_2 , ^{222}Rn)

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας



Μικρής ικανότητας

Μεγάλης ικανότητας



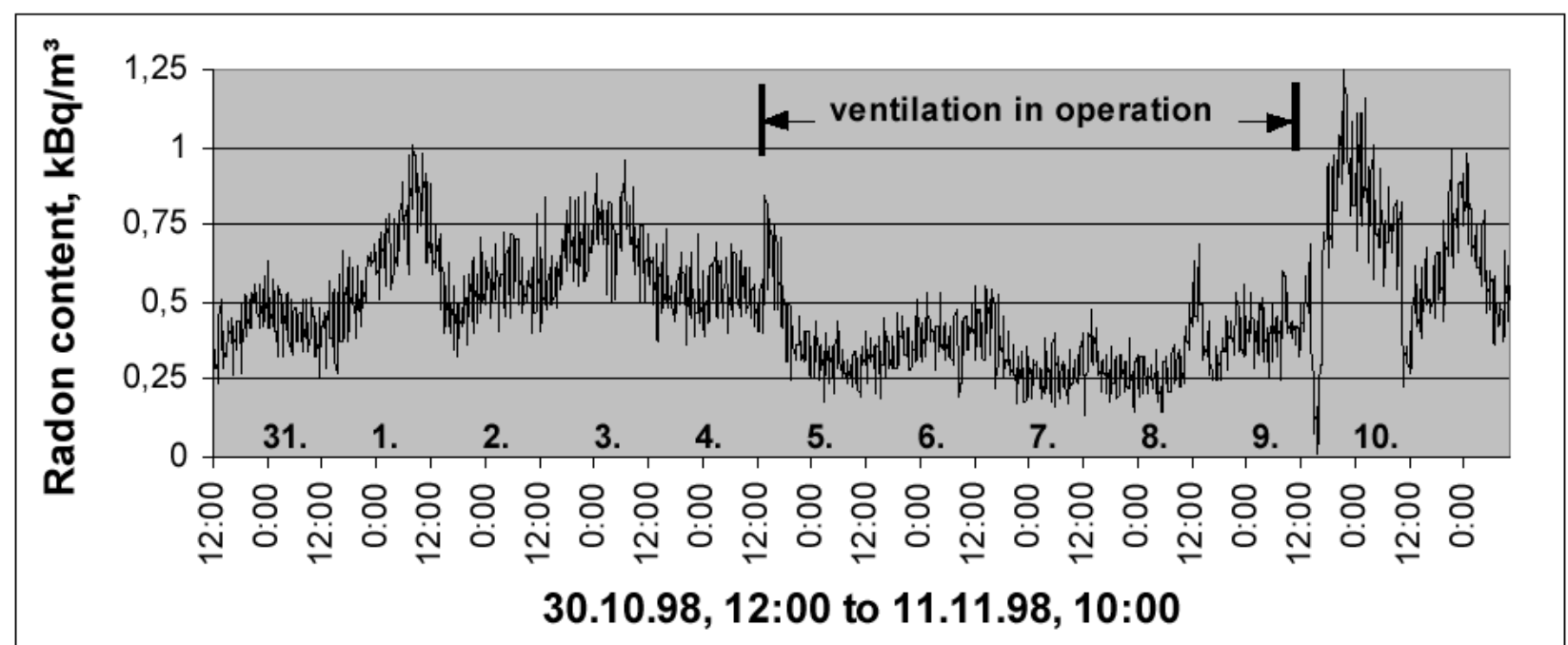
Συγκέντρωση ραδονίου σε εγκατάσταση επεξεργασίας νερού

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Η απομάκρυνση του ραδονίου από το νερό μπορεί να έχει ως συνέπεια την αύξηση της συγκέντρωσης στον αέρα μέσα στην εγκατάσταση, η οποία:

- παρουσιάζει σημαντική κύμανση μέσα στην ημέρα
- μπορεί να υπερβεί το 1kBq m^3

Κύμανση της
ραδιενέργειας
του ^{222}Rn στο
εσωτερικό
εγκατάστασης
επεξεργασίας
νερού





2.2.9 Ραδιενεργός ρύπανση κατά την ανακύκλωση μετάλλων



Ραδιενεργός ρύπανση κατά την ανακύκλωση μετάλλων

Κατά την ανακύκλωση μετάλλων, δύο είναι οι λόγοι για τους οποίους είναι δυνατόν να δημιουργηθεί ραδιενεργός ρύπανση στις εγκαταστάσεις ανακύκλωσης.

- Η ανακύκλωση υλικού που προέρχεται από βιομηχανίες οι οποίες παράγουν TENORM (πχ σκωρία σε σωλήνες από εγκαταστάσεις εξόρυξης πετρελαίου, αντλίες κλπ).
- Η ανεξέλεγκτη πολλές φορές απόρριψη ραδιενεργών πηγών που χρησιμοποιούνται στην ιατρική ή τη βιομηχανία, ή υλικών που προέρχονται από τη διάλυση πυρηνικών εγκαταστάσεων.



Ραδιενεργός ρύπανση κατά την ανακύκλωση μετάλλων

Το πρόβλημα κατά την ανακύκλωση προκύπτει από την τήξη των πηγών αυτών στους κλιβάνους όπου τήκεται το scrap. Ως αποτέλεσμα της διεργασίας αυτής, και ανάλογα με τις φυσικοχημικές ιδιότητες του ραδιενεργού ισοτόπου της πηγής, αυτό μπορεί να συγκεντρωθεί στο τελικό προϊόν, τα υποπροϊόντα (τέφρες, σκωρίες), να διαρρεύσει στην ατμόσφαιρα ή να κατακρατηθεί στα φίλτρα, εφόσον υπάρχουν. Ως συνέπεια, είναι δυνατόν να υπάρξει ραδιοβιολογική επιβάρυνση των εργαζομένων αλλά και του κοινού, εφόσον διαρρεύσει ραδιενέργεια στο περιβάλλον, ή αν το τελικό προϊόν διατεθεί προς χρήση.



Ραδιενεργός ρύπανση κατά την ανακύκλωση μετάλλων

Τα κυριότερα ισότοπα που ανιχνεύονται σε scrap είναι:

- ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{226}Ra , ^{192}Ir τα οποία προέρχονται από ιατρικές ή βιομηχανικές πηγές ακτινοβολήσης ή ραδιογραφίας.
- ^{241}Am που προέρχονται από πηγές μέτρησης πάχους και αλεξικέραυνα.
- ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th ^{210}Pb που προέρχονται από TENORM υλικά.

Ανάλογα με το ισότοπο και τις λεπτομέρειες της διαδικασίας ανακύκλωσης (πχ θερμοκρασία κλιβάνου), υπάρχει επιλεκτική συγκέντρωση στο προϊόν ή τα παραπροϊόντα. Για παράδειγμα, το ^{137}Cs , λόγω σχετικά χαμηλού σημείου τήξεως θα συγκεντρωθεί τελικά στην τέφρα, αντίθετα το ^{60}Co θα συγκεντρωθεί τελικά στο προϊόν (πχ χάλυβα).



Ραδιενεργός ρύπανση κατά την ανακύκλωση μετάλλων

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Κατά την τελευταία δεκαετία έχουν αναπτυχθεί ιδιαίτερα ευαίσθητοι ανιχνευτές ακτινοβολιών οι οποίοι εγκαθίστανται στις βιομηχανίες ανακύκλωσης, για την ανίχνευση ραδιενέργειας στην εισερχόμενη πρώτη ύλη, και στα εξερχόμενα προϊόντα/υποπροϊόντα. Είναι προφανές ότι ο έλεγχος κατά την είσοδο στο εργοστάσιο είναι και ο πλέον σημαντικός.

Σε περίπτωση που διαπιστωθεί ύπαρξη ραδιενέργειας η πηγή θα πρέπει να απομονωθεί και να ειδοποιηθεί ο αρμόδιος φορέας για τα περαιτέρω, που για την Ελλάδα είναι η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ).

Σήμερα, κάθε εισαγόμενο φορτίο scrap θα πρέπει να συνοδεύεται από Πιστοποιητικό το οποίο εκδίδεται από αναγνωρισμένο φορέα ελέγχου της χώρας προέλευσης του φορτίου, ότι είναι απαλλαγμένο από ραδιενέργεια.



Επιτήρηση ραδιενέργειας κατά την είσοδο σε βιομηχανία ανακύκλωσης μετάλλων

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας



Σταθερή διάταξη (portal)



Φορητό όργανο



Ραδιενεργός ρύπανση κατά την ανακύκλωση μετάλλων

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Από το 1983 έως σήμερα έχουν καταγραφεί παγκοσμίως περισσότερες από 60 περιπτώσεις ρύπανσης λόγω ραδιενεργών πηγών σε εγκαταστάσεις παραγωγής χάλυβα από ανακύκλωση, ενώ πολύ περισσότερες είναι η περιπτώσεις όπου πηγές ανιχνεύθηκαν και εντοπίστηκαν εγκαίρως κατά την είσοδο στη βιομηχανία (κατά 96% από τα portals).

Η σοβαρότερη περίπτωση ρύπανσης παρουσιάσθηκε στην Ισπανία το 1998, από τήξη ισχυρής πηγής ^{137}Cs . Ως αποτέλεσμα δημιουργήθηκε ραδιενεργό νέφος ^{137}Cs το οποίο ανιχνεύθηκε στην Γαλλία, Ελβετία και Ιταλία.

Στην Ελλάδα καταγράφηκε ατύχημα τήξεως πηγής ^{137}Cs σε βιομηχανία ανακύκλωσης σιδήρου της Θεσσαλονίκης το 1997, χωρίς όμως να ανιχνευθεί ραδιενέργεια στον αέρα. Η ρύπανση περιορίσθηκε εντός των εγκαταστάσεων της εταιρείας.



Βιομηχανία ανακύκλωσης μετάλλου

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας



↑
Υλικό προς
ανακύκλωση

Κλίβανος τήξης
και απαγωγή
← αερίων



Τελικό
προϊόν
←

Συλλογή
τέφρας
←



Ανακύκλωση μετάλλου με υψηλά επίπεδα TENORM

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

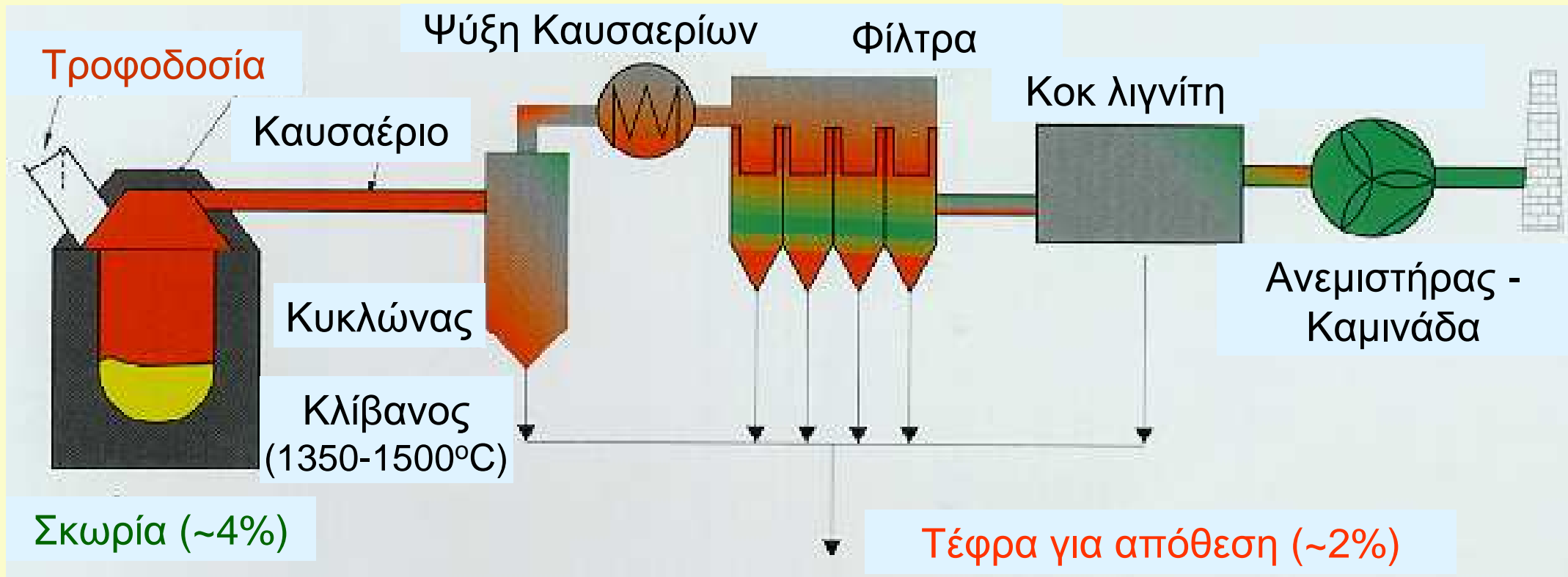
Κατά τη διάλυση εγκαταστάσεων στις οποίες παράγονται υλικά TENORM, μεγάλες ποσότητες σωληνώσεων, αντλιών, βαλβίδων που έχουν ρυπανθεί με υλικά TENORM και τοξικά στοιχεία όπως ο υδράργυρος. Προκειμένου να καταστεί δυνατή η επαναχρησιμοποίηση του μετάλλου πρέπει αυτό να υποστεί ειδική επεξεργασία απομάκρυνσης των ραδιενεργών και τοξικών στοιχείων.





Εγκατάσταση επεξεργασίας και απομάκρυνσης ραδιενεργών και τοξικών στοιχείων.

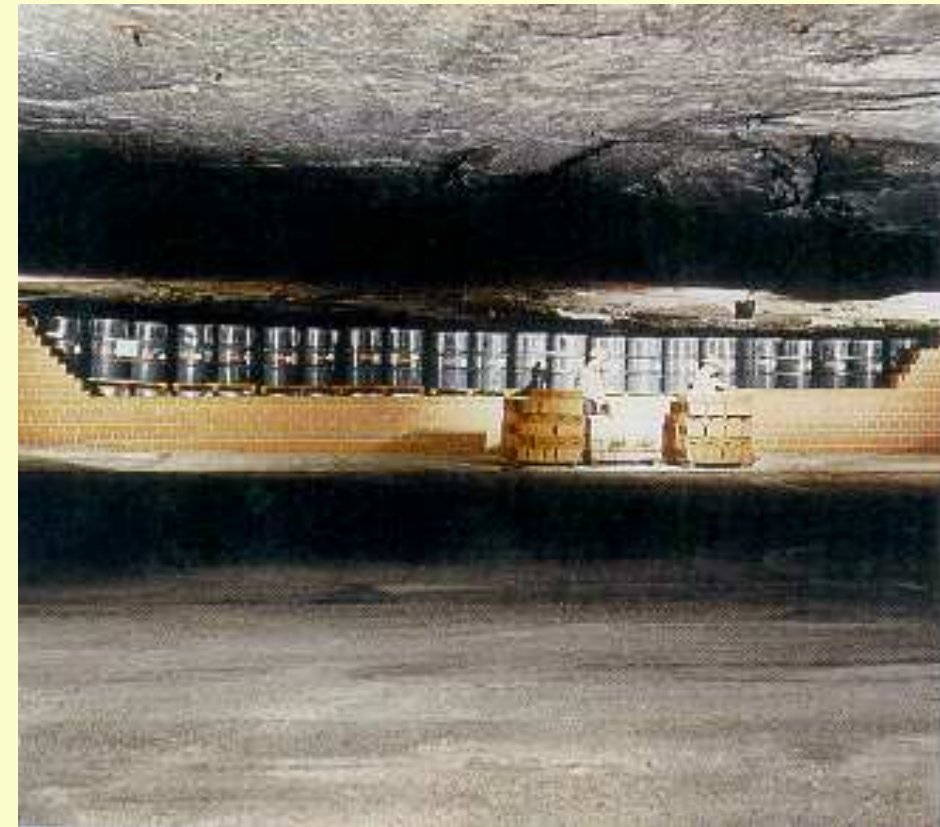
Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας





Απόθεση τέφρας

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας



Στην τέφρα η οποία συλλέγεται στα φίλτρα (~2%) έχουν συγκεντρωθεί όλα τα ραδιενεργά ισότοπα και τοξικά ιχνοστοιχεία που αρχικά περιέχονται στο scrap. Λόγω της υψηλής ραδιενέργειας και τοξικότητας η τέφρα αυτή αποτίθεται ως ραδιενεργό απόβλητο (radioactive waste)



Ραδιενέργεια στην τέφρα από την καύση βιομάζας

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Μετά το ατύχημα στο Chernobyl και τη μεγάλης έκτασης ρύπανση που είχε ως συνέπεια, αρκετά ισότοπα σχάσεως με κυριότερο το ^{137}Cs ανιχνεύονται στο περιβάλλον (χώμα, βλάστηση κλπ). Η χρήση βιομάζας (ξύλο, βλάστηση, κατάλοιπα επεξεργασίας ξύλου και φυτικής ύλης) για την παραγωγή ενέργειας έχει ως συνέπεια την επαναδιασπορά του στο περιβάλλον και τον εμπλουτισμό των παραγομένων τεφρών σε ^{137}Cs . Καθώς η περιεκτικότητα σε άκαυστα των υλικών αυτών είναι εν γένει χαμηλή, ο εμπλουτισμός αυτός είναι αρκετά υψηλός. Για τη Σουηδία, που είχε αρκετά υψηλά επίπεδα ρύπανσης από ^{137}Cs εκτιμάται ότι οι εκπομπές ^{137}Cs από εγκαταστάσεις καύσης βιομάζας ανέρχονται σε 2kBq MWh^{-1} , που είναι πολύ υψηλότερες από τις αντίστοιχες εκπομπές πυρηνικών εργοστασίων και οδηγούν σε μία ετήσια εκπομπή στην ατμόσφαιρα $10\text{GBq } ^{137}\text{Cs}$.

ΠΡΟΣΟΧΗ: Οι τέφρες αυτές δεν θεωρούνται υλικά TENORM



3. Ραδιενεργός ρύπανση εξαιτίας της χρήσης ραδιενεργών υλικών



Εισαγωγή

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Σε μεγάλο πλήθος τεχνικών εφαρμογών σήμερα χρησιμοποιούνται υλικά τα οποία έχουν υψηλά επίπεδα ραδιενέργειας. Τα υλικά αυτά χρησιμοποιούνται είτε διότι έχουν ιδιαίτερες φυσικές ιδιότητες (π.χ. σκληρότητα, πυκνότητα, υψηλό σημείο τήξεως κλπ) είτε ακριβώς λόγω του γεγονότος ότι είναι ραδιενεργά. Στη συνέχεια θα εξετασθεί η περίπτωση **ρύπανσης** εξαιτίας της χρήσης αυτών των υλικών ή σε περίπτωση ατυχήματος. **Επισημαίνεται ότι θέματα ακτινοπροστασίας και ασφαλούς χρήσης των υλικών αυτών δεν είναι αντικείμενο του υπόψιν μαθήματος.**



Εισαγωγή

Περιπτώσεις που ενδεικτικά θα εξετασθούν είναι:

- Ρύπανση και συνακόλουθη ραδιοβιολογική επιβάρυνση από τις ειρηνικές και μη χρήσεις απεμπλουτισμένου ουρανίου.
- Ρύπανση και συνακόλουθη ραδιοβιολογική επιβάρυνση από ραδιενεργά αλεξικέραυνα.
- Ρύπανση και συνακόλουθη ραδιοβιολογική επιβάρυνση από τη χρήση θοριούχων ηλεκτροδίων ηλεκτροσυγκόλλησης.
- Ρύπανση και συνακόλουθη ραδιοβιολογική επιβάρυνση από τη χρήση θοριούχων κραμάτων, κυρίως στη βιομηχανία αεροπορικών κινητήρων.



3.1 Ρύπανση και ραδιοβιολογική επιβάρυνση εξαιτίας της χρήσης απεμπλουτισμένου ουρανίου



Ισοτοπική σύσταση του ουρανίου

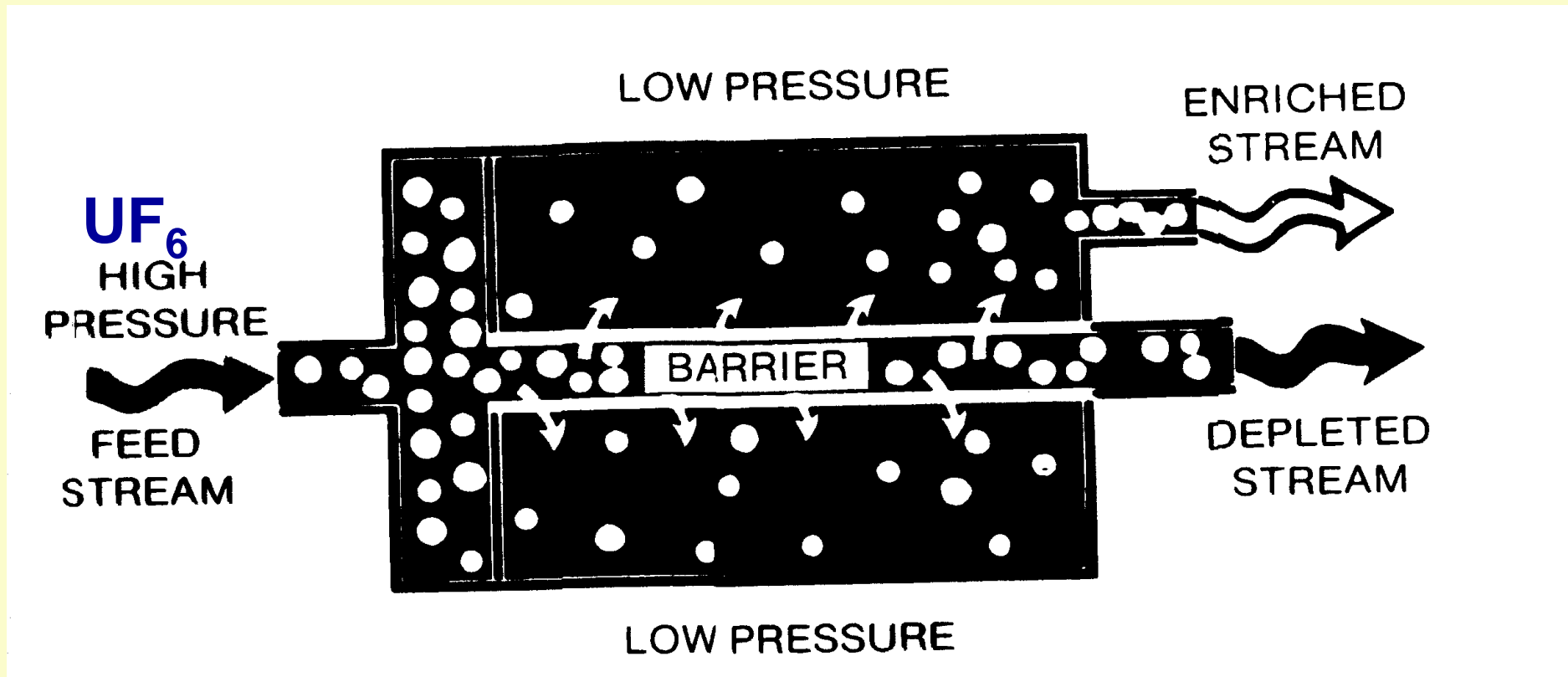
Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

	Φυσικό	Εμπλουτισμένο	Depleted
U-234	0.0054		
U-235	0.720	1.5-5 (-99)	< 0.3
U-238	99.275		



Διαδικασία εμπλουτισμού ουρανίου

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

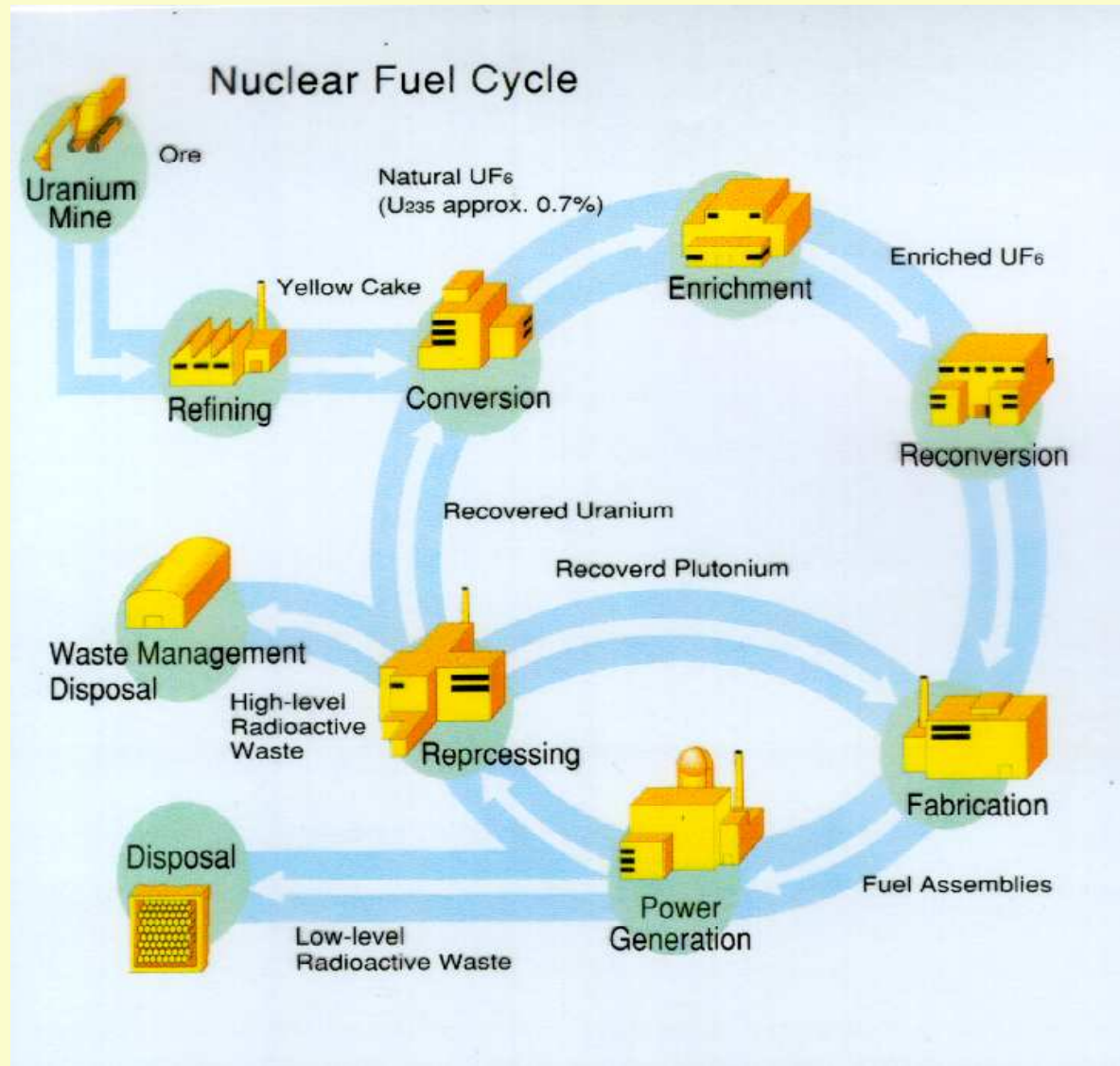
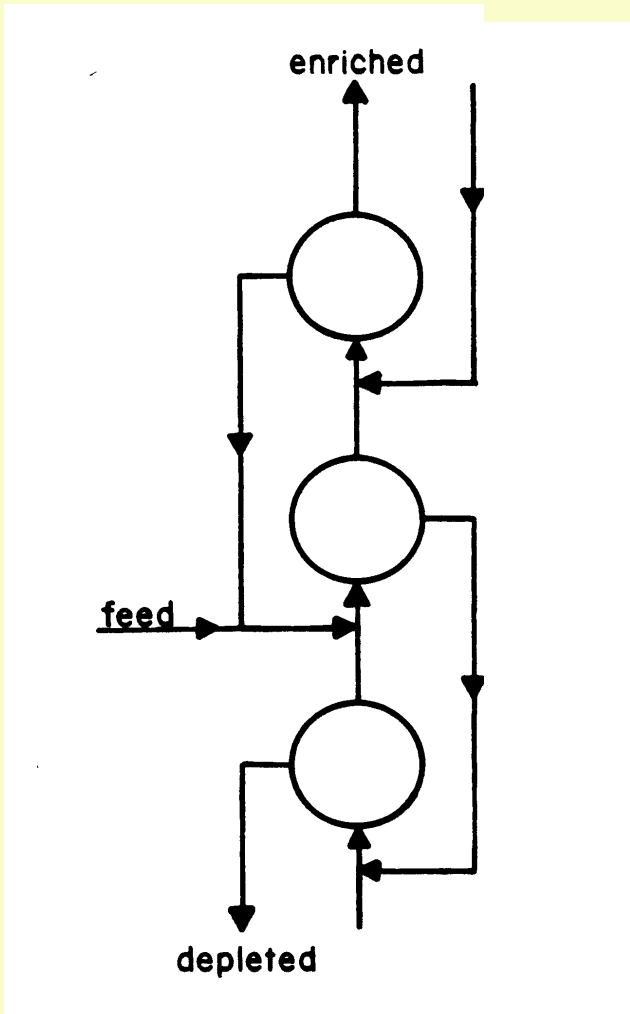


Το απεμπλουτισμένο ουράνιο (Depleted Uranium DU) είναι παραπροϊόν της διαδικασίας εμπλουτισμού του φυσικού ουρανίου



Διαδικασία εμπλουτισμού ουρανίου

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας



Ο κύκλος του ουρανίου



Ιδιότητες του DU

Οι παρακάτω ιδιότητες του DU το καθιστούν κατάλληλο υλικό για μία σειρά εφαρμογές:

- Υψηλή πυκνότητα (19 g cm^{-3})
- Υψηλό σημείο τήξεως (1132 C°)
- Μεγάλη σκληρότητα
- Πυροφορικό υλικό (αναφλέγεται σε υψηλές θερμοκρασίες)



Ακτινοβολία του DU

Κατά τη διαδικασία του απεμπλουτισμού του ουρανίου απομακρύνεται και το ^{234}U το οποίο είναι θυγατρικό του ^{238}U . Λόγω του πολύ υψηλού χρόνου υποδιπλασιασμού του, η αποκατάσταση ραδιενεργού ισορροπίας μεταξύ ^{234}U και ^{238}U μετά από το διαχωρισμό απαιτεί χιλιάδες χρόνια.

Η περιεκτικότητα του ^{235}U στο απεμπλουτισμένο ουράνιο είναι περίπου το 1/3 της περιεκτικότητας στο φυσικό ουράνιο (0.2% αντί για 0.72%).

Για τους παραπάνω λόγους, η ειδική ραδιενέργεια του DU είναι περί το 60% της ειδικής ραδιενέργειας του φυσικού ουρανίου.

Όταν το απεμπλουτισμένο ουράνιο προέρχεται από την ανακύκλωση χρησιμοποιημένου πυρηνικού καυσίμου μπορεί να περιέχει και ίχνη ^{236}U , ^{239}Pu και ^{240}Pu , σε συγκεντρώσεις όμως που δεν έχουν καμία ραδιοβιολογική σημασία.



Ακτινοβολία του DU

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Ισότοπο	Ραδιενέργεια φυσικού ουρανίου σε Bq/mg	Ραδιενέργεια απεμπλουτισμένου ουρανίου σε Bq/mg
^{234}U	12.40	2.26
^{235}U	0.57	0.16
^{238}U	12.40	12.40
Σύνολο	25.28	14.80 (58.5%)

- Στο φυσικό ουράνιο, παρόλο που το ^{235}U είναι μόνο το 0.72% (κατά βάρος), η ραδιενέργεια του ^{235}U είναι το 4.6% της συνολικής.
- Η μεγάλη μείωση της ραδιενέργειας του DU (~60%) οφείλεται κυρίως στην απομάκρυνση του ^{234}U .



Ακτινοβολία του DU

Το ^{238}U το οποίο αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό του DU (99.8%) εκπέμπει μόνον σωματίδια-α. Λόγω του σχετικά χαμηλού χρόνου υποδιπλασιασμού των θυγατρικών του ^{234}Th (24 ημέρες) και $^{234\text{m}}\text{Pa}$ (1.17min), το ^{238}U περίπου ένα χρόνο μετά τον διαχωρισμό του βρίσκεται σε ραδιενεργό ισορροπία με αυτά. Τα θυγατρικά αυτά υφίστανται διάσπαση-β και εκπέμπουν φωτόνια τα οποία είναι:

- είτε χαμηλής ενέργειας 63.29keV από το ^{234}Th
- είτε αξιόλογης ενέργειας 1001 keV αλλά με πολύ χαμηλό ποσοστό (<1%) από το $^{234\text{m}}\text{Pa}$

Κατά συνέπεια, η ακτινοβολία του DU είναι σχεδόν εξ ολοκλήρου ακτινοβολία-α και β, η οποία πολύ εύκολα θωρακίζεται και από το ίδιο το υλικό.



Πόσο DU υπάρχει σήμερα διαθέσιμο;

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Σύμφωνα με εκτιμήσεις του 1998, στις ΗΠΑ μόνο υπήρχαν αποθηκευμένα περί τα 60000 δοχεία με περίπου 500000 m³ DU υπό μορφή εξαφθοριούχου ουρανίου (UF₆). Η μακρόχρονη αποθήκευση δημιουργεί προβλήματα κυρίως λόγω ασφάλειας, αλλά και διάβρωσης των δοχείων.





Χρήσεις του DU και ενδεχόμενη ρύπανση

Λόγω των ιδιαίτερων ιδιοτήτων του DU αλλά και της διαθεσιμότητάς του ως πρώτη ύλη πολλές είναι οι ειρηνικές και μη εφαρμογές του. Ως συνέπεια της χρήσης του είναι δυνατόν να υπάρξει ρύπανση από DU:

- κατά τις μη-ειρηνικές εφαρμογές του, και
- κατά τις ειρηνικές εφαρμογές του μόνον σε περίπτωση ατυχήματος. Σε κανονικές συνθήκες, είναι προφανές ότι θα πρέπει να λαμβάνονται όλα τα απαραίτητα μέτρα ακτινοπροστασίας.



Ειρηνικές χρήσεις του DU

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Ως **αντίβαρο** σε εμπορικά και στρατιωτικά αεροσκάφη, καθώς επιτρέπει το σχεδιασμό αντίβαρων πολύ μικρού όγκου. Το βάρος ενός τέτοιου αντίβαρου κυμαίνεται από 230g ως 70kg. Για παράδειγμα, ένα Boeing 747 χρειάζεται αντίβαρα συνολικού βάρους έως 1500 kg DU. Το μεγαλύτερο βάρος τοποθετείται στα φτερά και το ουραίο τμήμα του αεροσκάφους. Αντίβαρα DU χρησιμοποιούνται στο παρελθόν και σε πτέρυγες ελικοπτέρων. Στα μέσα της δεκαετίας του 1980 άρχισαν σταδιακά να χρησιμοποιείται ως εναλλακτική λύση (πιο ακριβή) για την κατασκευή αντίβαρων το βολφράμιο (W) με παρόμοια πυκνότητα.

Η χρήση αντίβαρων DU δεν συνεισφέρει στη δόση επιβατών και προσωπικού του αεροσκάφους. Ενδεχομένως συνεισφέρει στη δόση προσωπικού συντήρησης του αεροσκάφους.



Ειρηνικές χρήσεις του DU

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Η μοναδική περίπτωση που υπάρχει κίνδυνος ρύπανσης από το DU των αντίβαρων είναι σε περίπτωση αεροπορικού ατυχήματος, και ιδιαίτερα εφόσον υπάρχει ανάφλεξη, όποτε υπάρχει σοβαρός κίνδυνος διασποράς του DU στο περιβάλλον.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι το διπλό ατύχημα στην Τεννερίφη το 1977, όπου διασκορπίστηκε στο περιβάλλον 3000kg DU, και το αεροπορικό ατύχημα το 1992 στο Amsterdam όπου συνετρίβη φορτηγό αεροσκάφος σε σπίτια της πόλης. Στην περίπτωση αυτή, στην περιοχή του ατυχήματος αφαιρέθηκε το επιφανειακό χώμα μέχρις βάθους 40 cm, προκειμένου να αποκατασταθεί το περιβάλλον από τη ρύπανση λόγω του DU.



Ειρηνικές χρήσεις του DU

Το DU έχει χρησιμοποιηθεί ως αντίβαρο σε καρίνες ιστιοπλοϊκών σκαφών, σε περονοφόρα οχήματα, σε ανελκυστήρες σε γεραμούς καθώς και σε αυτοκίνητα αγώνων τύπου F1.

Το DU χρησιμοποιείται στο σχεδιασμό θωρακίσεων έναντι φωτονιακών ακτινοβολιών υψηλών ενεργειών, όπως αυτές που παράγονται κατά τη λειτουργία επιταχυντικών διατάξεων και συσκευών ακτινοβολήσης, λόγω της υψηλής τιμής του ολικού γραμμικού συντελεστή εξασθένησης φωτονίων (μ), σε συνδυασμό με το γεγονός ότι το ίδιο το DU εκπέμπει κυρίως ακτινοβολία- α και $-\beta$ λόγω των θυγατρικών του, η οποία εύκολα μπορεί να θωρακισθεί. Ακόμα, χρησιμοποιείται για κατασκευή θωρακίσεων ραδιενεργών αποβλήτων.



Δυνατότητες επεξεργασίας του DU

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας



Θωρακίσεις και αντίβαρα

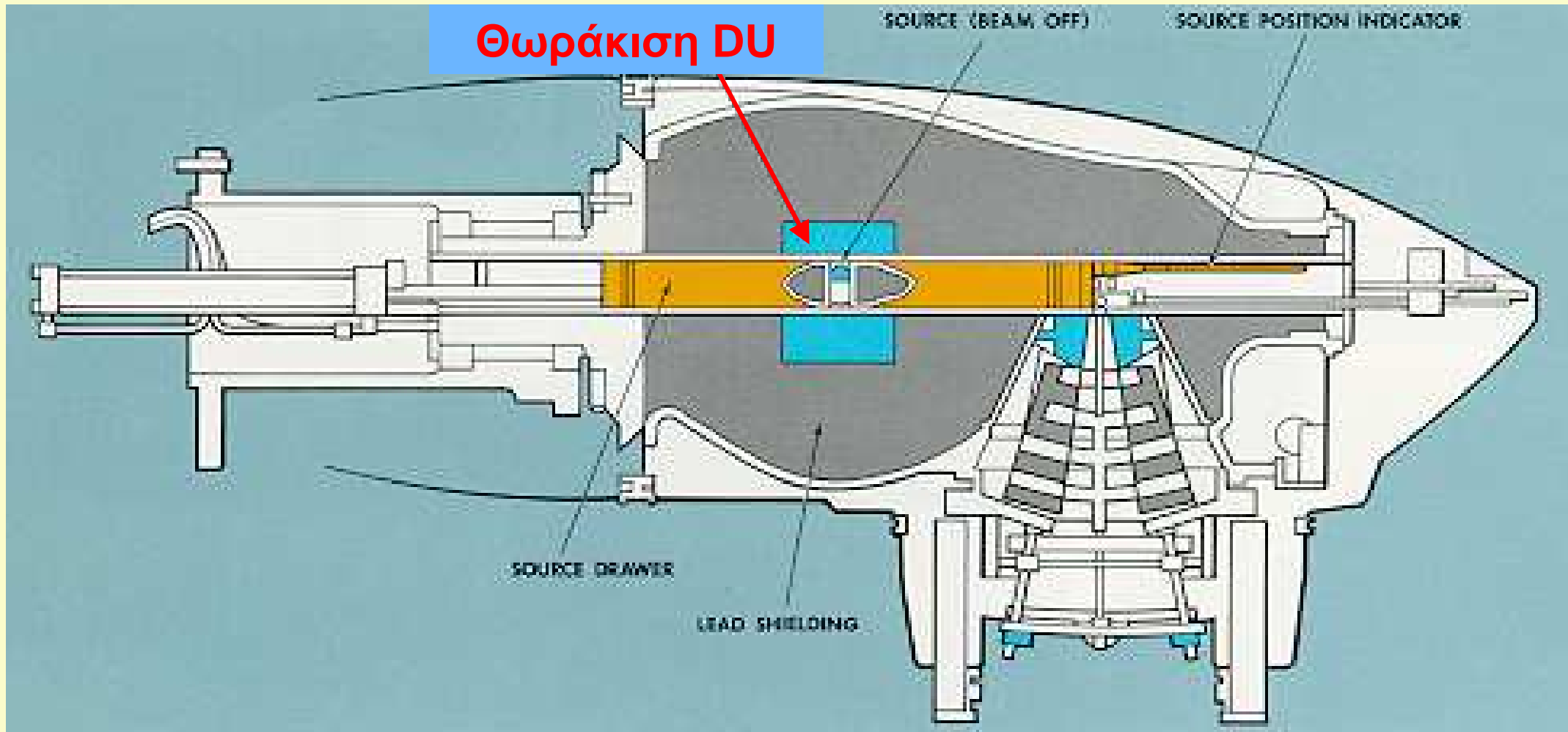
Αντίβαρα αεροσκάφους





Θωράκιση πηγής από DU σε βόμβα κοβαλτίου

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας





Στρατιωτικές εφαρμογές του DU

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας



Διατρητικά βλήματα
διαφόρων τύπων και
μεγεθών, κυρίως
αντιαρματικά, τα οποία
εκτοξεύονται από
αεροσκάφη, ελικόπτερα ή
άρματα μάχης





Στρατιωτικές εφαρμογές του DU

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Θωρακίσεις ορισμένων αρμάτων μάχης
για προστασία έναντι βλημάτων DU.

Συνήθως, τα άρματα αυτά χρησιμοποιούν
και βλήματα DU



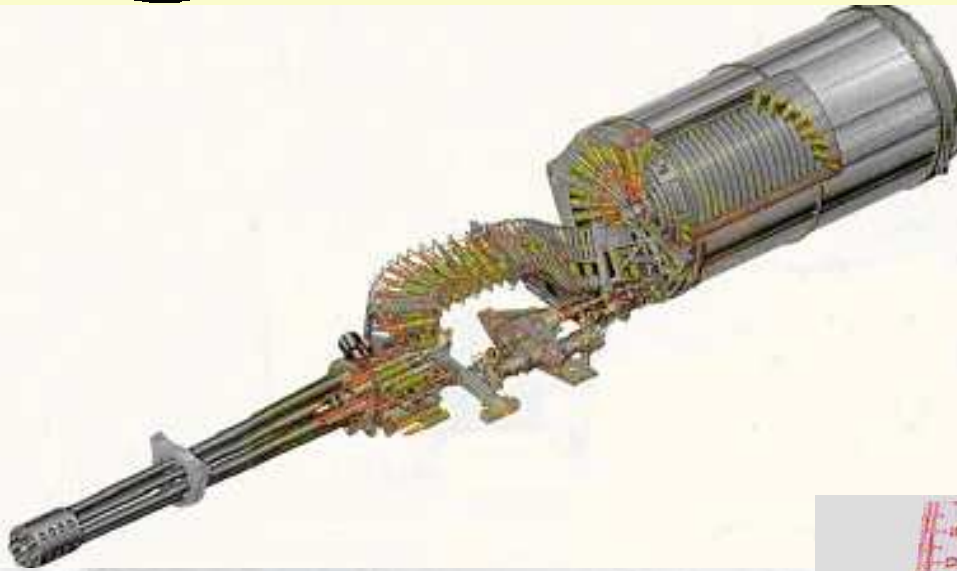
Προσοχή πρέπει να δίδεται σε θέματα
ασφάλειας του προσωπικού των
αρμάτων και του προσωπικού
συντήρησης- επισκευής, ιδιαίτερα σε
περίπτωση που το άρμα έχει πληγεί.





Αεροσκάφος A10 εξοπλισμένο με πυροβόλο των 30mm

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

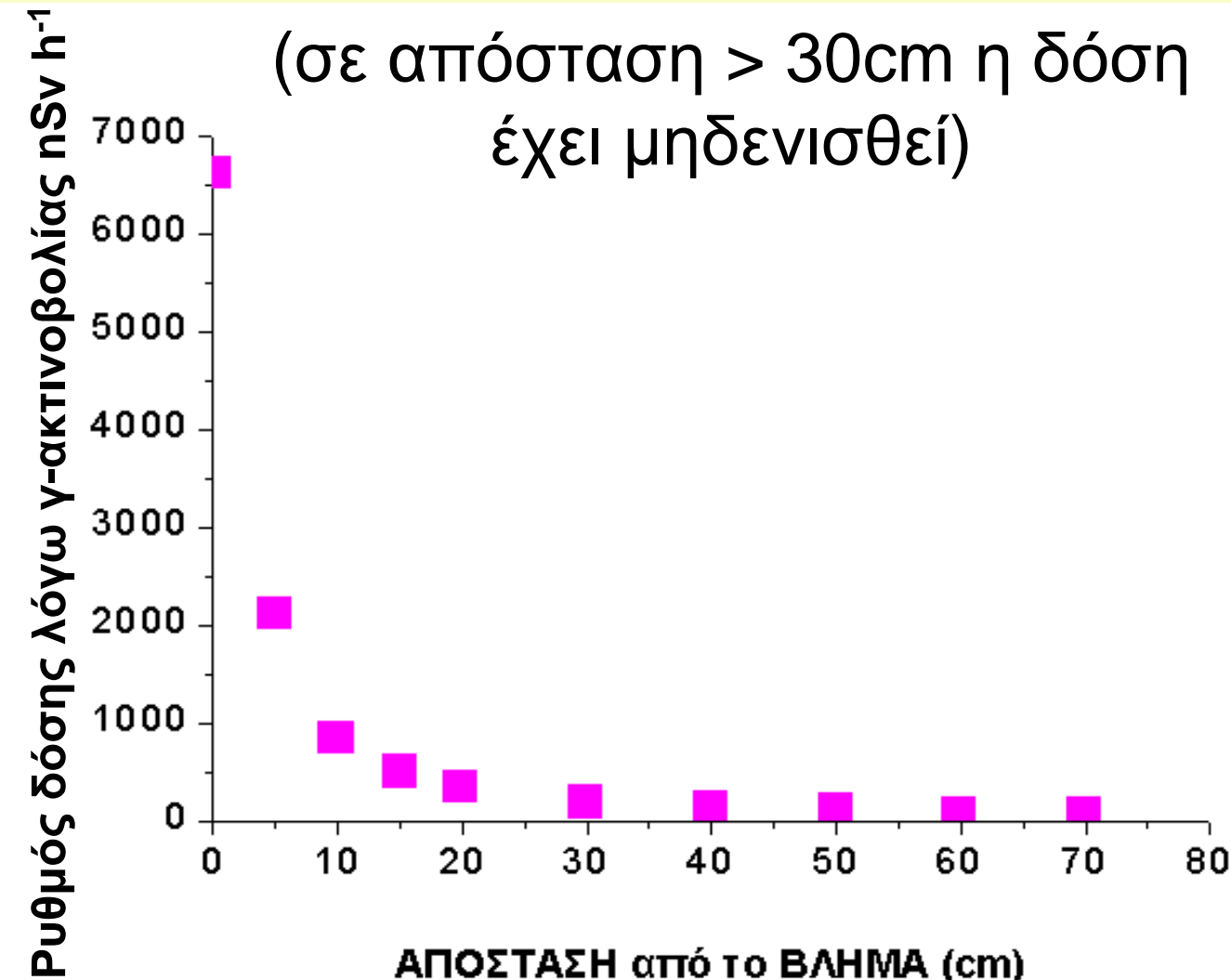


Αντιαρματικά
βλήματα DU
των 30mm
ικανά να
διατρήσουν
9mm ασάλι



Απευθείας ακτινοβόληση από βλήμα DU 30mm

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας



Προφανώς απαιτείται προσοχή κατά τη μεταφορά, την αποθήκευση, τη φόρτιση και την ανακομιδή των βλημάτων από τους άνδρες των Ενόπλων Δυνάμεων





Επιβεβαιωμένες χρήσεις βλημάτων DU

- Στον πόλεμο Ιράκ-Κουβέιτ το 1991 εκτιμάται ότι χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά σε μεγάλη έκταση βλήματα DU (περί τα 860000, συνολικού βάρους περίπου 315 τόνων).
- Στην Βοσνία-Ερζεγοβίνη 1995 χρησιμοποιήθηκαν ~3 τόνοι.
- Στο Κόσοβο το 1999 χρησιμοποιήθηκαν ~10 τόνοι σε 112 συνολικά περιοχές στόχους.
- Στην εισβολή στο Ιράκ το 2003 (?)
- Σε πεδία βολής στη θάλασσα και την ξηρά, σε χώρες που διαθέτουν τέτοια βλήματα.



Χρήση DU στο Κόσοβο (1999)

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Κατά τον πόλεμο στο Κόσοβο χρησιμοποιήθηκαν περί τους 10 τόνους DU, κυρίως ως βλήματα 30mm που εκτοξεύθηκαν από αεροσκάφη A10-A. Μικρό ποσοστό εκτοξεύθηκε και με πυραύλους (cruising missiles). Από τα βλήματα 30mm περίπου το 10% εκτιμάται ότι χτύπησαν στόχους (διασπορά στον αέρα 10-35%, ~100gr), ενώ τα υπόλοιπα έπεσαν στο έδαφος (μάλλον εμφυτεύτηκαν σε βάθος ως 2m).

Τα σωματίδια DU τα οποία διασκορπίστηκαν στο περιβάλλον είχαν διάμετρο $<5 \mu\text{m}$ και εκτιμάται ότι διασκορπίστηκαν σε απόσταση έως 0.1 – 1km από το στόχο (σύμφωνα με άλλη πηγή έως 50 km).





Συλλογή βλημάτων DU

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας



Διαβρωμένο βλήμα



Σχηματισμός αεροζόλ DU

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Η ποσότητα του αεροζόλ που σχηματίζεται κατά την πρόσκρουση των βλημάτων DU σε στόχο εξαρτάται κυρίως από τη σκληρότητα του στόχου. Όσο μεγαλύτερη είναι η σκληρότητα του στόχου τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό της ενέργειας του βλήματος που καταναλώνεται για τη διάτρηση και κατά συνέπεια η ποσότητα του παραγόμενου αεροζόλ. Για μεγάλη σκληρότητα στόχου το βλήμα μπορεί να σπάσει ή εν μέρει να λιώσει, κάτι που έχει ως συνέπεια την επαύξηση του σχηματισμού αεροζόλ.

Η διασπορά αεροζόλ και θραυσμάτων γύρω από το στόχο είναι μικρή και εξαιρετικά ανομοιογενής, εκτιμάται δε ότι στη χειρότερη περίπτωση δεν ξεπερνά τα 100-1000m.



Η ανίχνευση του DU

Για την ανίχνευση του DU στο χώμα, χρησιμοποιείται συχνά ένα από τα παρακάτω κριτήρια:

– Αυξημένη συγκέντρωση του ^{238}U στο χώμα

Ερώτημα: πάνω από ποιο όριο θεωρείται αυξημένη η συγκέντρωση;

Παρατήρηση: Η ραδιενέργεια του ουρανίου στο έδαφος κυμαίνεται φυσιολογικά από ~ 20 έως $\sim 300 \text{ Bq kg}^{-1}$)

– Διαταραχή της ραδιενεργού ισορροπίας μεταξύ του ^{238}U και του θυγατρικού του ^{226}Ra .

Ερώτημα: αφού παρατηρείται διαταραχή της ραδιενεργού ισορροπίας στο χώμα ακόμα και χωρίς να υπάρχει ρύπανση DU, ποιο είναι το όριο της διαταραχής για να θεωρηθεί ότι υπάρχει DU σε δείγμα;



Ραδιενέργεια δείγματος χώματος από κρατήρα DU στην περιοχή Bratoseice του Κοσόβου

Ισότοπο	Ραδιενέργεια (Bq/kg)	
	Κρατήρας	Τιμές αναφοράς *
^{210}Pb	207	288
^{226}Ra	192	266
^{234}Th (^{238}U)	2417	344
DU	2217	-

* Από γειτονική περιοχή πριν από τη χρήση βλημάτων DU



Η ανίχνευση του DU

Καθώς το απεμπλουτισμένο ουράνιο αποτελείται από δύο ισότοπα του ουρανίου (^{238}U και ^{235}U) τα οποία ούτως ή άλλως βρίσκονται στη φύση (φυσικό ουράνιο με 99.28% ^{238}U και 0.72% ^{235}U), η μόνη αξιόπιστη μεθοδολογία ανίχνευσης του στο χώμα, βασίζεται στη διαπίστωση **στατιστικά σημαντικής διαταραχής της φυσικής ισοτοπικής αναλογίας των δύο ισωτόπων.**

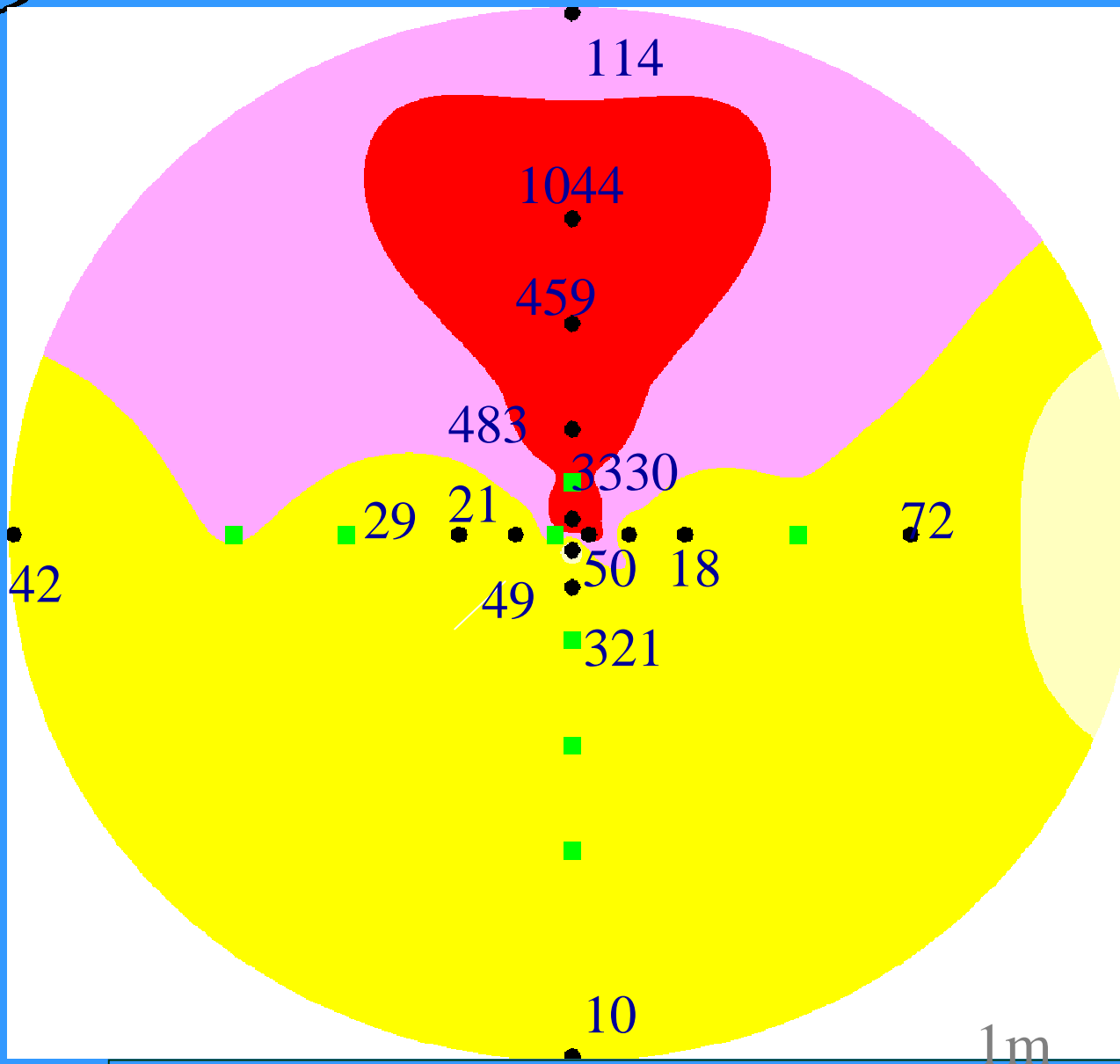
Οποιαδήποτε άλλη μεθοδολογία προσδιορισμού του στηρίζεται σε παραδοχές (π.χ. ραδιενεργού ισορροπίας στο αρχικό χώμα) οι οποίες πολύ συχνά δεν ισχύουν.

Η διαπίστωση της στατιστικά σημαντικής διαταραχής της φυσικής ισοτοπικής αναλογίας των δύο ισωτόπων απαιτεί ιδιαίτερα εξειδικευμένη οργανολογία και τεχνικές ανάλυσης.



Χαρτογράφηση του λόγου $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ γύρω από στόχο

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας



- 0.21 < ratio < 0.35
- 0.35 < ratio < 0.50
- 0.50 < ratio < 0.60
- 0.60 < ratio < 0.73

DU (^{238}U), σε
Bq/kg

Όπως προέκυψε από
δειγματοληψίες και
αναλύσεις του ΕΠΤ-ΕΜΠ



Ραδιοβιολογική επιβάρυνση λόγω της χρήσης DU

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Εξωτερική έκθεση:

Λόγω των σωματιδίων-β και των φωτονίων που εκπέμπονται. Η συνιστώσα αυτή ενδέχεται να είναι σημαντική μόνο σε συνθήκες μάχης, οπότε δημιουργείται αεροζόλ DU, σε περίπτωση συλλογής βλημάτων και θραυσμάτων, και για το προσωπικό που έρχεται σε επαφή με επιφάνειες που έχουν ρυπανθεί (π.χ. άρμα μάχης που έχει βληθεί με βλήματα DU).

Ο ρυθμός δόσης σε επαφή με θραύσματα είναι της τάξης του 1mSv h^{-1} .

Ο ρυθμός δόσης για το προσωπικό οχημάτων που είναι θωρακισμένα με DU είναι της τάξης του $1\mu\text{Sv h}^{-1}$.



Ραδιοβιολογική επιβάρυνση λόγω της χρήσης DU

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Εσωτερική έκθεση:

Λόγω κυρίως των σωματιδίων-α και των σωματιδίων-β.

Η είσοδος του DU στον οργανισμό μπορεί να οφείλεται σε:

- Κατάποση τροφής ή νερού που έχει ρυπανθεί από DU (δεν θεωρείται σημαντική συνιστώσα, με εξαίρεση την περίπτωση παιδιών που παίζουν κοντά σε κατεστραμμένα άρματα).
- Εισπνοή αεροζόλ DU (αφορά κυρίως στο προσωπικό οχημάτων που έχουν βληθεί από βλήματα DU).
- Εμφύτευση θραυσμάτων DU (αφορά στο προσωπικό που έχουν τραυματισθεί από θραύσματα DU, τα οποία λόγω του μεγέθους τους δεν έχουν αφαιρεθεί).



Ραδιοβιολογική επιβάρυνση λόγω της χρήσης DU Μερικά συμπεράσματα:

- Μέχρι σήμερα δεν έχει επιστημονικά αποδειχθεί ότι η χρήση βλημάτων απεμπλουτισμένου ουρανίου συνδέεται με ανάπτυξη καρκίνων σε άτομα που έχουν εκτεθεί, ακόμα στην περίπτωση εμφυτευμένων θραυσμάτων DU.
- Η χημική τοξικότητα του απεμπλουτισμένου ουρανίου (ως βαρύ μέταλλο) είναι σημαντικότερη από τη ραδιοτοξικότητά του.
- Οπωσδήποτε, η έρευνα για τις ραδιοβιολογικές επιπτώσεις από τη χρήση του πρέπει να συνεχισθούν με παρακολούθηση ατόμων που έχουν εκτεθεί και πληθυσμών που διαβιούν κοντά σε στόχους.
- Ένα θέμα που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι η διάβρωση των εμφυτευμένων στο έδαφος βλημάτων και η ενδεχόμενη ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα.



4.3 Ρύπανση και ραδιοβιολογική επιβάρυνση εξαιτίας της χρήσης ραδιενεργών αλεξικέραυνων



Το ^{241}Am

Είναι τεχνητό α-ραδιενεργό ισότοπο το οποίο ανακαλύφθηκε το 1944 και έχει $T_{1/2} = 432.2$ χρόνια.

Παράγεται από τη β-διάσπαση του ^{241}Pu ($T_{1/2} = 14.35$ χρόνια). Λόγω των χρόνων ημιζωής των ^{241}Pu και ^{241}Am δεν υπάρχει περίπτωση αποκατάστασης της ραδιενεργού ισορροπίας μεταξύ τους.

Έχει υψηλή ραδιοτοξικότητα.

Χρησιμοποιείται κυρίως σε :

- Καταναλωτικά προϊόντα : Αλεξικέραυνα, αντιστατικές συσκευές, ανιχνευτές καπνού.
- Βιομηχανικές εφαρμογές : Πηγές νετρονίων Am-Be για βιομηχανική χρήση.



Το ^{241}Am στο έδαφος

Μπορεί να προέρχεται από:

- Πυρηνικές δοκιμές. Στην περίπτωση αυτή έχει αποτεθεί στο έδαφος είτε απευθείας ως ^{241}Am είτε ως θυγατρικό του ^{241}Pu .
- Πυρηνικά ατυχήματα (Chernobyl). Στην περίπτωση αυτή έχει αποτεθεί στο έδαφος είτε απευθείας ως ^{241}Am , είτε ως θυγατρικό του ^{241}Pu . Στην Ελλάδα στο ΕΠΤ-ΕΜΠ ανιχνεύθηκε στον αέρα ^{241}Am το 1986 κατά τη διάλυση του νέφους του Chernobyl.
- Διαρροές ή καταστροφή προϊόντων και συσκευών που το περιέχουν. Στην περίπτωση αυτή έχει αποτεθεί στο έδαφος ως ^{241}Am .



Αλεξικέραυνα με ραδιενεργές πηγές

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Χρησιμοποιούνται στο παρελθόν προκειμένου μέσω του ιονισμού της ατμόσφαιρας στην περιοχή της αιχμής, να αυξάνουν την εμβέλεια και την αποτελεσματικότητα του αλεξικέραυνου.

Οι ραδιενεργές πηγές που χρησιμοποιούντο ήταν α-ραδιενεργά ισότοπα και κυρίως ^{226}Ra και ^{241}Am .

Το 1978 εκτιμάται ότι είχαν εγκατασταθεί παγκοσμίως περί τα 200000 αλεξικέραυνα.

Η αποτελεσματικότητά τους δεν έχει τεκμηριωθεί και λόγω και του κινδύνου που συνεπάγεται η χρησιμοποίηση ραδιενεργών πηγών, σήμερα έχει απαγορευθεί η χρήση τους σε πολλές χώρες.

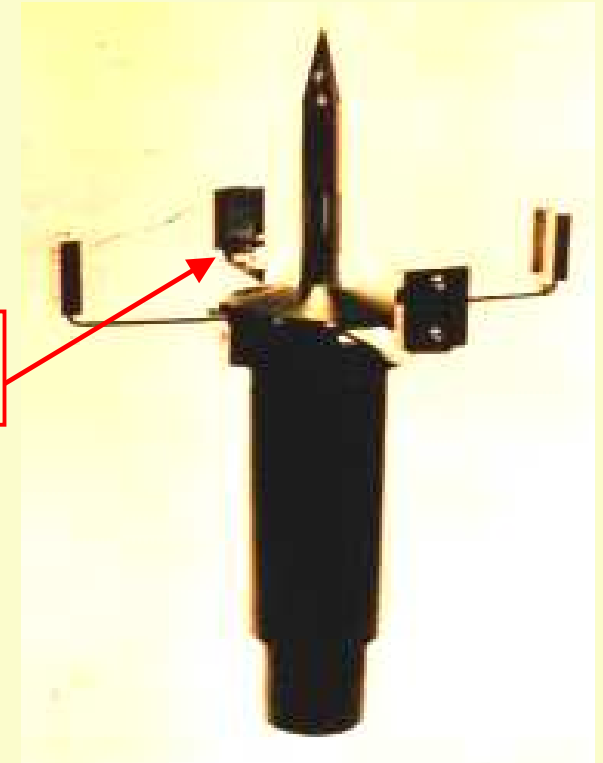


Αλεξικέραυνα ^{241}Am

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας



Πλακίδια ^{241}Am



Καθώς οι ραδιενεργές πηγές είναι εκτεθειμένες στην ατμόσφαιρα υπάρχει πιθανότητα ρύπανσης του ιστού και της περιοχής γενικότερα (πχ λόγω διάβρωσης).



Αλεξικέραυνα με ραδιενεργές πηγές στην Ελλάδα (1995)

Την περίοδο 1960-1986 εγκαταστάθηκαν περί τα 2500 αλεξικέραυνα με ραδιενεργές πηγές.

Περί τα 2000 έχουν πηγές ^{241}Am και περί τα 200 πηγές ^{226}Ra .

Η συνολική ραδιενέργεια των πηγών σε ένα αλεξικέραυνο κυμαίνεται μεταξύ 3.7-111 MBq (συνήθως $\sim 18.5\text{MBq}$).

Η συνολική εγκατεστημένη ραδιενέργεια εκτιμάται σε 3GBq (80mg) ^{226}Ra και 185GBq ^{241}Am .

Η εγκατάστασή τους έχει απαγορευθεί από το 1986, ενώ πολλά εξακολουθούν ακόμα και σήμερα να είναι εγκατεστημένα.



Ραδιοβιολογική σημασία του ^{241}Am

1. Τα α-σωματίδια τα οποία εκπέμπει έχουν εμβέλεια στον αέρα ελάχιστα εκατοστά και δεν διαπερνούν την εξωτερική επιδερμίδα.
2. Τα φωτόνια τα οποία εκπέμπει είναι πολύ χαμηλών ενεργειών και επίσης θωρακίζονται εύκολα.
3. Η απευθείας δόση λόγω των φωτονίων είναι υποπολλαπλάσια της δόσης λόγω των φωτονίων που εκπέμπονται από τα φυσικά ραδιενεργά ισότοπα που βρίσκονται στο έδαφος και τα οικοδομικά υλικά (για ίδιες συγκεντρώσεις).
4. Η μόνη επιβάρυνση θα μπορούσε να προκύψει από την τυχόν εισπνοή ή κατάποση του ^{241}Am .



Ρύπανση από αλεξικέραυνο ^{241}Am

Από μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί από το ΕΠΤ-ΕΜΠ έχει διαπιστωθεί η ρύπανση αυτή μπορεί να είναι σημαντική. Συγκεκριμένα, εξαιτίας ραδιενεργού αλεξικέραυνου ^{241}Am εγκατεστημένου στην οροφή κτιρίου διαπιστώθηκε ότι:

Η ραδιενέργεια ^{241}Am στο χώμα στη βάση του κτιρίου έφτανε τα 86Bq kg^{-1} .

Η ραδιενέργεια ^{241}Am σε νερό βροχής από τις υδρορροές του κτιρίου έφτανε τα 21 Bq lt^{-1} .

Υπήρχε ανιχνεύσιμη ραδιενέργεια ^{241}Am στον ιστό.

Ο ρυθμός δόσης κάτω από το αλεξικέραυνο ήταν διπλάσιος ($\sim 70\text{ nSv h}^{-1}$) από το ρυθμό δόσης εξαιτίας του φυσικού υποστρώματος της περιοχής έναντι ($\sim 30\text{ nSv h}^{-1}$).



Νομοθεσία για την απόρριψη στερεών ραδιενεργών καταλοίπων με ^{241}Am

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

6.6. ΑΠΟΡΡΙΨΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΤΑΛΟΙΠΩΝ

6.6.1. Επιτρέπεται η απόρριψη στερεών ραδιενεργών καταλοίπων στα κοινά απορρίμματα εφόσον:

6.6.1.1. Η ραδιενεργός συγκέντρωση δεν υπερβαίνει τις τιμές των επιπέδων αποδέσμευσης που αναγράφονται στην στήλη 3 του ΠΙΝΑΚΑ 6.2.

6.6.1.2. Δεν περιέχουν αντικείμενα ή δεν περιέχονται σε αντικείμενα που μπορεί να επαναχρησιμοποιηθούν.

6.6.2. Για ραδιενεργά κατάλοιπα που παρουσιάζουν ιδιαιτερότητες και η διαχείρισή τους δεν εμπίπτει στις προηγούμενες παραγράφους, ο τρόπος διαχείρισης εγκρίνεται κατά περίπτωση από την ΕΕΑΕ.

6.6.3. Στερεά ραδιενεργά κατάλοιπα τα οποία υπόκει-

Pu-243	5.6E-04	10
Pu-244	8.3E+07	0.1
Am-241	4.3E+02	0.1
Am-242	1.8E-03	100
Am-242m	1.5E+02	0.1
Am-243	7.4E+03	0.1

(0.1 Bq/g = 100 Bq/kg)

Μέγιστη τιμή ραδιενέργειας που ανιχνεύθηκε στο χώμα 86 Bq/kg
Δείγμα χώματος που συλλέχθηκε από το όρος Πατέρας μετά το ατύχημα στο Chernobyl : ως 100 Bq/kg



Ραδιοβιολογική σημασία αλεξικέρανου ^{226}Ra

Στην περίπτωση που στο αλεξικέρανο χρησιμοποιείται πηγή ^{226}Ra , πέραν των όσων ισχύουν για το αλεξικέρανο με πηγή ^{241}Am :

- Αναμένεται υψηλότερος ρυθμός δόσης εξαιτίας των περισσότερων και υψηλότερης ενέργειας φωτονίων που εκπέμπει το ^{226}Ra και τα θυγατρικά του.
- Σε περίπτωση αποκαθής του αλεξικέρανου πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν κατά τη φύλαξη του υπάρχει εκροή ραδονίου από την ανοικτή πηγή ραδίου.
- Κατά την ανίχνευση του ^{226}Ra πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν ότι το ^{226}Ra είναι ένα φυσικό ραδιενεργό ισότοπο το οποίο ανιχνεύεται σχεδόν πάντα στο χώμα.



4.4 Ρύπανση και ραδιοβιολογική επιβάρυνση εξαιτίας της χρήσης ενώσεων του θορίου



Εφαρμογές των ενώσεων του θορίου

Το οξειδίο του θορίου έχει πολύ υψηλό (3300 C°) σημείο τήξεως. Ελάχιστα στοιχεία, όπως το βολφράμιο (W), και ενώσεις έχουν υψηλότερο σημείο τήξεως. Επιπλέον, όταν θερμαίνεται στον αέρα αναφλέγεται με ένα λαμπρό λευκό φως. Για το λόγο αυτό το θόριο και οι ενώσεις του χρησιμοποιούνται σε αρκετά προϊόντα και διεργασίες, κυρίως όταν απαιτείται η αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες. Μερικές εφαρμογές είναι:

- Σε κράματα μαγνησίου-θορίου
- Σε νήματα βολφραμίου (λάμπες, ηλεκτρονικές λυχνίες)
- Σε ηλεκτρόδια βολφραμίου
- Σε λάμπες αερίου



Ηλεκτρόδια βολφραμίου

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Χρησιμοποιούνται κατά τη συγκόλληση TIG (Tungsten Inert Gas) και κατά τη συγκόλληση πλάσματος. Κατά τις συγκολλήσεις αυτές το ηλεκτρόδιο, το τόξο και η περιοχή της κόλλησης προστατεύονται από τον ατμοσφαιρικό αέρα μέσω της χρήσης αδρανούς αερίου (συνήθως Ar).

Τα ηλεκτρόδια βολφραμίου χρησιμοποιούνται λόγω της υψηλής αντοχής σε θερμοκρασία και διάβρωση. Για βελτίωση των ιδιοτήτων των ηλεκτροδίων χρησιμοποιούνται οξειδία των μετάλλων όπως **Th**, **La**, **Ce** και **Zr**. Για το θόριο, η περιεκτικότητα μπορεί να φτάσει το 2%.





Ραδιοβιολογική επιβάρυνση από τη χρήση ηλεκτροδίων βολφραμίου

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Αφορά μόνο στη χρήση ηλεκτροδίων που περιέχουν θόριο.

Η δόση λόγω απευθείας ακτινοβόλησης (εξωτερική) στο προσωπικό που κάνει συγκολλήσεις είναι μικρή και γενικά θεωρείται αμελητέα, καθώς η ακτινοβολία που εκπέμπεται είναι κυρίως ακτινοβολία-α και μικρής έντασης. Παρολαυτά συνιστάται η λήψη μέτρων, όπως η φύλαξη των ηλεκτροδίων σε μεταλλικά κιβώτια κατάλληλα επισημασμένα. Ένας τεχνίτης που καθημερινά φέρει πάνω του (στην τσέπη) 3 ηλεκτρόδια δέχεται συνολική δόση ετησίως της τάξης των 0.08 mSv.

Η δόση λόγω εισπνοής κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης έχει εκτιμηθεί ότι είναι αμελητέα, καθώς, λόγω του υψηλού σημείου τήξεως είναι αμελητέα είναι η ποσότητα θορίου που εξατμίζεται κατά τη συγκόλληση.



Ραδιοβιολογική επιβάρυνση από τη χρήση ηλεκτροδίων βολφραμίου

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Προκειμένου να διατηρείται η σταθερότητα του τόξου κατά τη συγκόλληση απαιτείται περιοδικά η λείανση των ηλεκτροδίων.

Κατά τη φάση λείανσης των ηλεκτροδίων απελευθερώνεται στον αέρα σκόνη βολφραμίου και θορίου, η εισπνοή της οποίας έχει ως αποτέλεσμα την εσωτερική ακτινοβόληση από τα σωματίδια-α που εκπέμπει το θόριο.

Η διαδικασία λείανσης, ανάλογα με τον τεχνίτη, μπορεί να πάρει 20-60s. Ένας τεχνίτης που τροχίζει τα δικά του ηλεκτρόδια (~3 ημερησίως) μπορεί να χρειασθεί πάνω από ένα λεπτό, ενώ ένας εξειδικευμένος τεχνίτης πολύ λιγότερο.

Για το λόγο αυτό απαιτείται **κατάλληλος εξαερισμός** και κάτω από ορισμένες συνθήκες, ενδέχεται η περιοχή να πρέπει να χαρακτηριστεί ελεγχόμενη περιοχή (**controlled area**) σύμφωνα με τους Διεθνείς Κανονισμούς Ακτινοπροστασίας.



Ραδιοβιολογική επιβάρυνση από τη χρήση ηλεκτροδίων βολφραμίου

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Με την παραδοχή ότι η μέση διάμετρος της παραγόμενης κατά την τριβή σκόνης είναι 1 μm εκτιμάται ότι:

Ένας τεχνίτης συγκολλήσεων που τροχίζει τα δικά του ηλεκτρόδια εκτίθεται ετησίως σε 0.2 mSv (η δόση μπορεί να μειωθεί στο 1/10 με χρήση τοπικού συστήματος εξαερισμού).

Σε ένα εργοστάσιο όπου εργάζονται π.χ. 50 συγκολλητές, ενδεχομένως να χρειάζεται η λείανση 150 ηλεκτροδίων ημερησίως. Ένας εξειδικευμένος τεχνικός που θα εργαζόταν 200 ώρες το χρόνο για λείανση, χωρίς τοπικό εξαερισμό εκτίθεται ετησίως σε 8 mSv. Δόση που δεν είναι αμελητέα .

Εν γένει, ο κίνδυνος από τη χρήση ηλεκτροδίων που περιέχουν θόριο, στις περισσότερες περιπτώσεις θεωρείται αμελητέος. Παρολαυτά, σε ορισμένες χώρες (π.χ. Δανία) συνιστάται η αποφυγή της χρήσης τους.



Κράματα μαγνησίου-θορίου

Τυπική σύσταση:

- Mg-**Th**-Zr
- Mg-**Th**-Zn-Zr
- Mg-Ag-**Th**-Zr + σπάνιες γαίες.

Τα κράματα του είδους αυτού που έχουν τη γενική ονομασία **Mag-Thor** έχουν τις παρακάτω πολύ σημαντικές ιδιότητες:

- υψηλή αντοχή,
- αντοχή σε ερπυσμό σε υψηλές θερμοκρασίες και
- χαμηλό βάρος.



Κράματα μαγνησίου-θορίου

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Οι συνήθεις εφαρμογές των κραμάτων αυτών είναι κυρίως σε **εξαρτήματα αεροπορικών κινητήρων**, αλλά και σε πυραύλους, διαστημικούς κινητήρες, άρματα μάχης κλπ. Εκτιμάται ότι για τις εφαρμογές αυτές η μέση συγκέντρωση θορίου είναι **~1.7%**, ενώ η ραδιενέργεια μπορεί να φτάνει τα **160Bq g⁻¹**.





Ραδιοβιολογική επιβάρυνση από τη χρήση κραμάτων Mag-Thor

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Προβλήματα μπορεί να υπάρχουν κατά την απόσυρση τέτοιων υλικών (ως scrap), ή στην περίπτωση που γίνεται κατεργασία των υλικών (π.χ. κοπή)

Σε μελέτη (NRPB 1997) υπολογίσθηκε ότι οι εργαζόμενοι με κράματα Th-Mg για 100 ώρες/έτος, με αναπνευστική προστασία δέχονται :

- Εξωτερική δόση = 2.5 mSv
- Εσωτερική δόση = 6.6 mSv

Άλλοι υπολογισμοί που έχουν γίνει για προσωπικό συντήρησης αεροσκαφών στα οποία έχει χρησιμοποιηθεί κράμα Mag-thor, δείχνουν ότι η ετήσια δόση είναι της τάξης του 0.5mSv. Κατά τη δεκαετία 1973-1983 εκτιμάται ότι στην αεροπορική βιομηχανία χρησιμοποιούντο κάθε χρόνο 4-5 τόνοι οξειδίου του θορίου. Έκτοτε, η χρήση του περιορίζεται διαρκώς.



Αεροσκάφος Lockheed T-33 Shooting Star

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας



Για την κατασκευή εξαρτημάτων του κινητήρα χρησιμοποιείται κράμα Mag-Thor (~4% θόριο)



Ραδιοβιολογική επιβάρυνση από την κοπή κινητήρα T33 (πραγματική περίπτωση)

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

Σε εκπαιδευτικό εργαστήριο, επιχειρήθηκε η κοπή κινητήρα αεροσκάφους Lockheed T-33 "Shooting Star". Εκτεταμένα τμήματα του συμπιεστή και της μονάδας διάχυσης του κινητήρα J33, κόπηκαν με τροχό και εν συνεχεία λειάνθηκαν. Οι εργασίες κοπής και λείανσης εκτιμήθηκε ότι ήταν διάρκειας ~80 ώρες.

Επιτόπιες μετρήσεις ολικής γ -ακτινοβολίας που πραγματοποίησε μετά το συμβάν η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας με φορητό μετρητή ισοδύναμης δόσης (Victoreen 190E) έδωσε τα αποτελέσματα :

- Ρυθμός δόσης **10 - 20 $\mu\text{Sv/h}$** σε επαφή με τον κινητήρα
- Ρυθμός δόσης **4 $\mu\text{Sv/h}$** σε απόσταση 20 cm.
- Η συνολική δόση λόγω εισπνοής κατά την κοπή και τη λείανση εκτιμήθηκε συνολικά σε **6mSv**.



Βιβλιογραφία

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

1. Radioactivity in the Environment. R.D.Kathern, Harwood Academic Publishers, 1991, ISBN 3-7186-0532-5
2. Radiation and radioactivity on Earth and Beyond, Draganic I.V. et al, CRC Press, 1993, ISBN 0-8493-8675-6.
3. Sources and Effects of Ionizing Radiations, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR 1993 Report to the General Assembly with Scientific Annexes, ISBN 92-1-142200-0.
4. RADIATION Doses, Effects, Risks, United Nations Environment Programme, 1985, ISBN 92-807-1104-0.
5. RADIATION ATLAS, Natural Sources of ionizing Radiation in Europe, 1993, EUR 14470, ISBN 92-826-4840-0
6. The Natural Radiation Environment VI, Environment International, Volume 22, Supplement Issue, ISSN 0160-4120.



Βιβλιογραφία

7. Depleted Uranium in Bosnia Herzegovina: Post Conflict Assessment, UNEP Report, 2003, ISBN 92-1-158619-4
8. Depleted Uranium in Kosovo: Post Conflict Environmental Assessment, UNEP Report, 2001.
9. Depleted Uranium in Serbia and Montenegro: Post Conflict Environmental Assessment in the Federal Republic of Yugoslavia, UNEP Report, 2002, ISBN 92-807-2146-1.
10. Radiation Protection 68, Study on consumer products containing radioactive substances in EU Member States, EUR 15846 EN, 1995, ISBN 92-826-9000-8.
11. Radioactivity Concentrations in Non-Nuclear Industries, J. Environ Radioact, 32, 1-2, 1996, 19-31



Κατάλογος περιοδικών και www sites

Τομέας Πυρηνικής
Τεχνολογίας

1. Journal of Environmental Radioactivity (Elsevier)
2. Radiation Protection and Dosimetry (Elsevier)
3. The Science of the Total Environment (Elsevier)
4. Environment International (Pergamon)
5. <http://www.tenorm.com>
6. <http://www.unep.com>
7. <http://balkans.unep.ch>
8. <http://www.eeae.gr/>
9. <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/>
(περιέχει πολλά IAEA Technical Documents).
10. [http://www.ornl.gov/ptp/collection/consumer%20products/
consumer.htm](http://www.ornl.gov/ptp/collection/consumer%20products/consumer.htm)