



# Κλιματική Αλλαγή και Παραγωγή Ενέργειας: Είναι η Πυρηνική Ενέργεια ή μόνη λύση ? *Εισαγωγή στη ραδιενέργεια*

Μάριος Αναγνωστάκης  
Αν. Καθηγητής  
Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας,  
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ



## Ορισμένα μέτρα που προτείνονται για την αντιμετώπιση της κλιματικής

- Εξοικονόμηση ενέργειας στη βιομηχανία, μεταφορές, καθημερινή ζωή.
- Εξοικονόμηση πόρων και ενέργειας μέσω της ανακύκλωσης και της επαναχρησιμοποίησης υλικών
- Αντικατάσταση των παραδοσιακών μεθόδων παραγωγής ενέργειας με νέες που έχουν χαμηλότερο ή μηδενικό ενεργειακό αποτύπωμα.



## Η πυρηνική ενέργεια ως λύση

- Η πυρηνική τεχνολογία αναφέρεται μεταξύ των τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας οι οποίες θα μπορούσαν και θα ήταν σκόπιμο να υποκαταστήσουν την παραγωγή ενέργειας με χρήση ορυκτών καυσίμων. Συχνά μάλιστα αναφέρεται και ως «πράσινη» τεχνολογία.
- Η πυρηνική τεχνολογία είναι άμεσα συνδεδεμένη στη συνείδηση του κόσμου με τα πυρηνικά ατυχήματα τα οποία έχουν γίνει τις τελευταίες δεκαετίες, με συνέπειες πλανητικής κλίμακας λόγω των ραδιενεργών ισοτόπων που απελευθερώθηκαν στο περιβάλλον και την παραγωγή ραδιενεργών αποβλήτων.



## Είναι όμως τόσο επικίνδυνη η πυρηνική τεχνολογία ?

- Είναι η πυρηνική τεχνολογία η μόνη, ή η σημαντικότερη πηγή έκθεσης του ανθρώπινου πληθυσμού σε ραδιενεργές ακτινοβολίες ?
- Υπάρχουν άλλες βιομηχανικές ή μη δραστηριότητες οι οποίες εκθέτουν τον ανθρώπινο πληθυσμό σε ραδιενεργές ακτινοβολίες ?
- Υπάρχουν άλλες βιομηχανικές δραστηριότητες οι οποίες να εκθέτουν τον ανθρώπινο πληθυσμό σε παρόμοιους κινδύνους.
- Έχουν γίνει βιομηχανικά ατυχήματα σε παρόμοια κλίμακα, με παρόμοιες ή και μεγαλύτερες επιπτώσεις ?



## Τι είναι η ραδιενέργεια

- Είναι ένα φυσικό φαινόμενο.
- Προϋπήρχε του ανθρώπου και θα υπάρχει μετά από αυτόν.
- Πρόκειται για την αυθόρμητη διάσπαση ορισμένων πυρήνων, οι οποίοι λόγω της αναλογίας των πρωτονίων και των νετρονίων μέσα στον πυρήνα δεν μπορούν να παραμείνουν σταθεροί και διασπώνται.
- Τα περισσότερα στοιχεία στη φύση έχουν και ραδιενεργά ισότοπα (π.χ.  $^{40}\text{K}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ )
- Η ραδιενεργός διάσπαση συνοδεύεται από εκπομπή ακτινοβολίας ( $\alpha$  ή  $\beta$  και  $\gamma$ ).

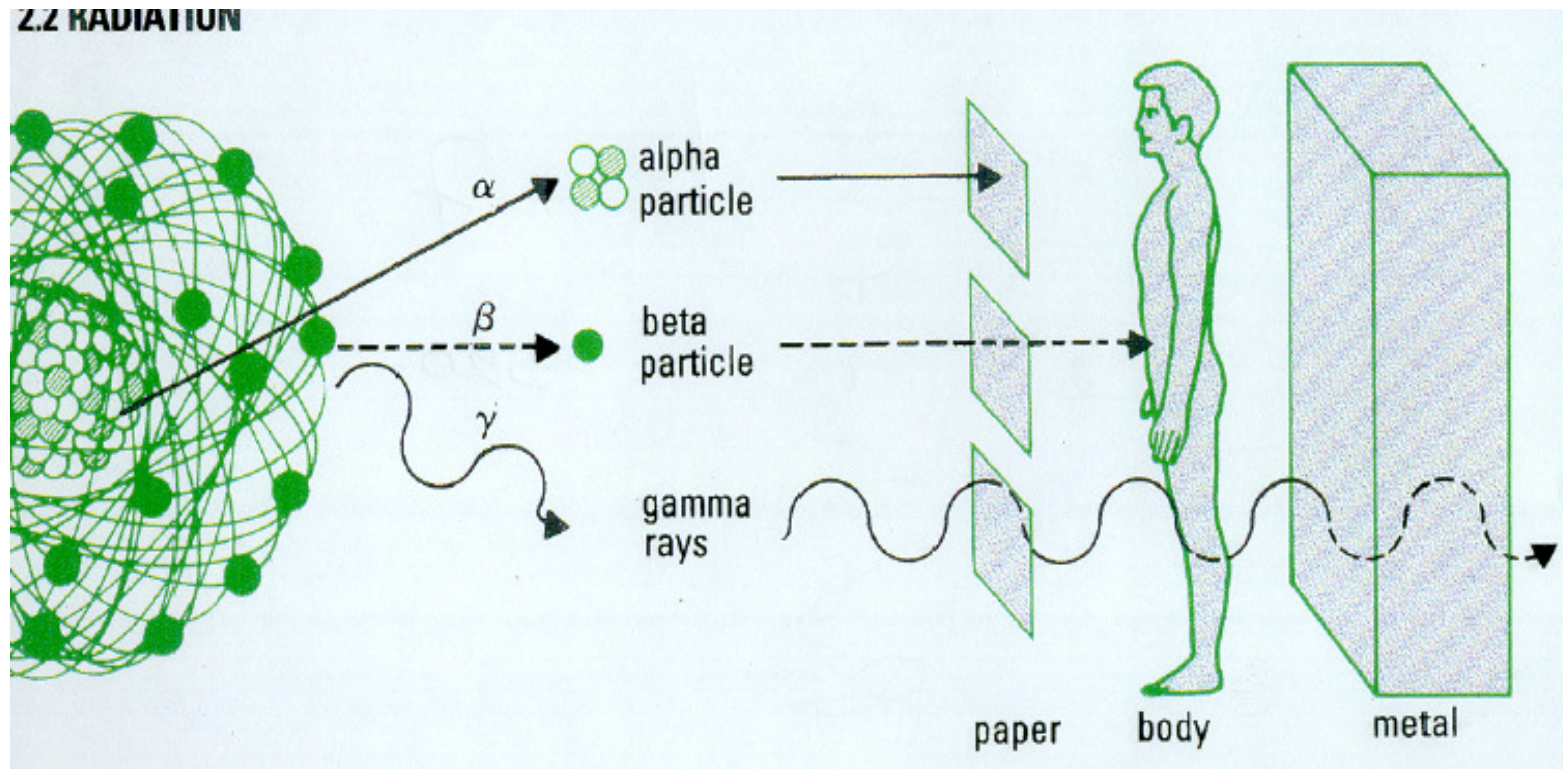


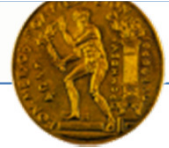
## Βασικά μεγέθη

- Μονάδα μέτρησης του ρυθμού διάσπασης των πυρήνων (ραδιενέργεια) είναι το Becquerel (Bq) ( $1 \text{ Bq} = 1$  διάσπαση/s).
- Ένα μέγεθος που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ραδιοβιολογικής επίπτωσης λόγω της έκθεσης σε «ραδιενεργές ακτινοβολίες» είναι η **Ισοδύναμη Δόση**, με μονάδα μέτρησης το Sievert (Sv)
- Ισοδύναμη Δόση 1 Sv αντιστοιχεί σε ενέργεια 1 Joule η οποία αποτίθεται σε 1kg ιστού μέσω ακτινοβολίας-γ ή -Χ
- Η ενέργεια αυτή δεν είναι ιδιαίτερα υψηλή, το πρόβλημα είναι ότι συνοδεύεται από παραγωγή μεγάλου πλήθους ιόντων.



# Διεισδυτικότητα των ακτινοβολιών





## Πηγές ακτινοβόλησης

- Φυσική ραδιενέργεια του εδάφους
- Κοσμική ακτινοβολία (πρωτογενής & δευτερογενής)
- Ιατρικές εφαρμογές
- Ραδιολογικά ατυχήματα
- Βιομηχανικές εφαρμογές και βιομηχανικά προϊόντα
- Οικοδομικά υλικά & ραδόνιο σε εσωτερικούς χώρους
- Παραπροϊόντα βιομηχανικών διεργασιών
- Επαγγελματική έκθεση
- Ραδόνιο στην κατοικία
- Πυρηνικά ατυχήματα & πυρηνικές δοκιμές



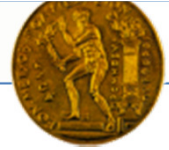


## Είδη ακτινοβολησης

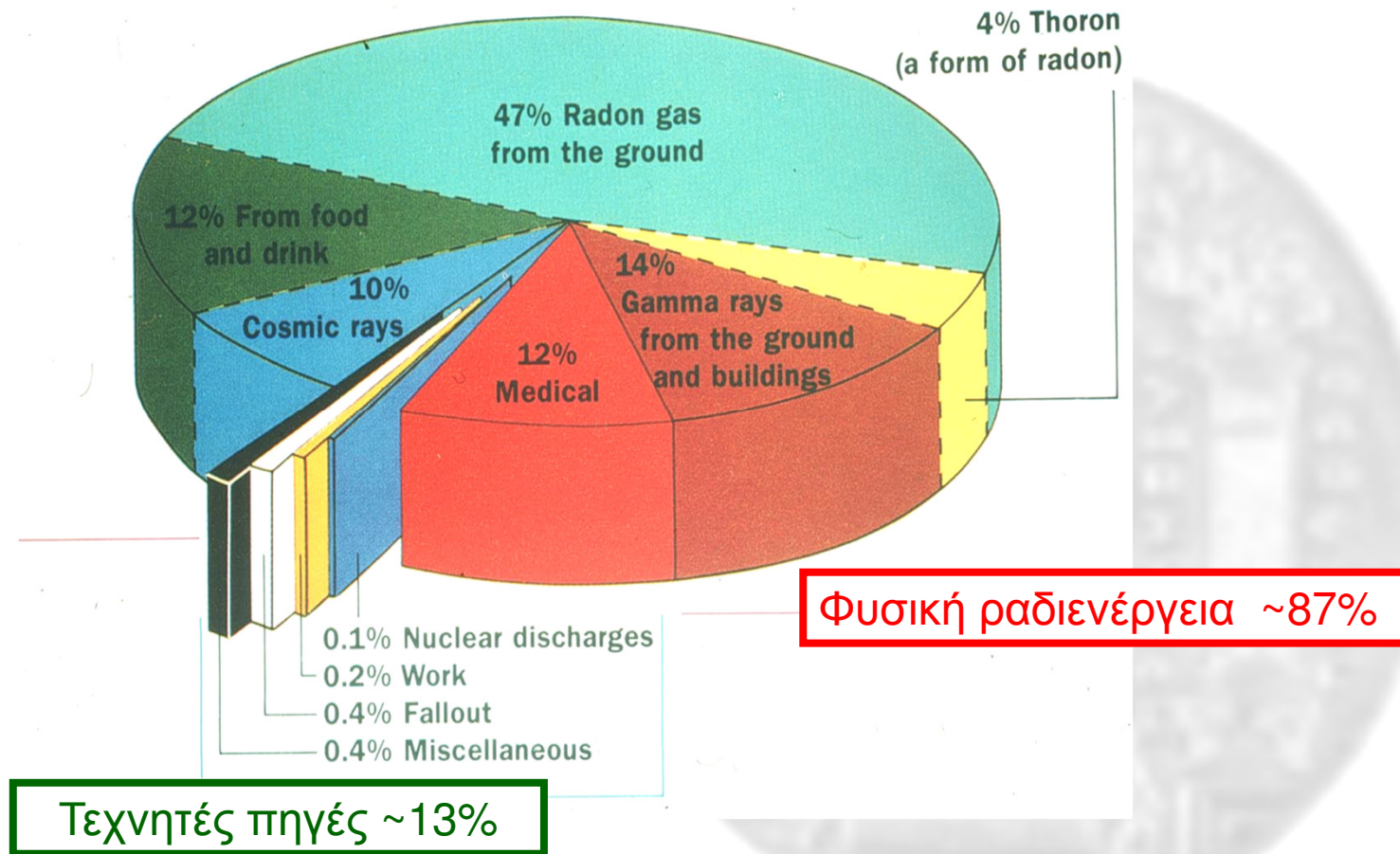
Εξωτερική ακτινοβοληση λόγω των ισοτόπων που βρίσκονται στο έδαφος και τον αέρα και λόγω κοσμικής ακτινοβολίας



Εσωτερική ακτινοβοληση λόγω των ισοτόπων τα οποία ευρίσκονται μέσα στον οργανισμό ( $^{40}\text{K}$ ) είτε εισέρχονται σε αυτόν λόγω εισπνοής και κατάπωσης



# Μέση δοσιμετρική επιβάρυνση από διάφορες πηγές 2-3mSv/year





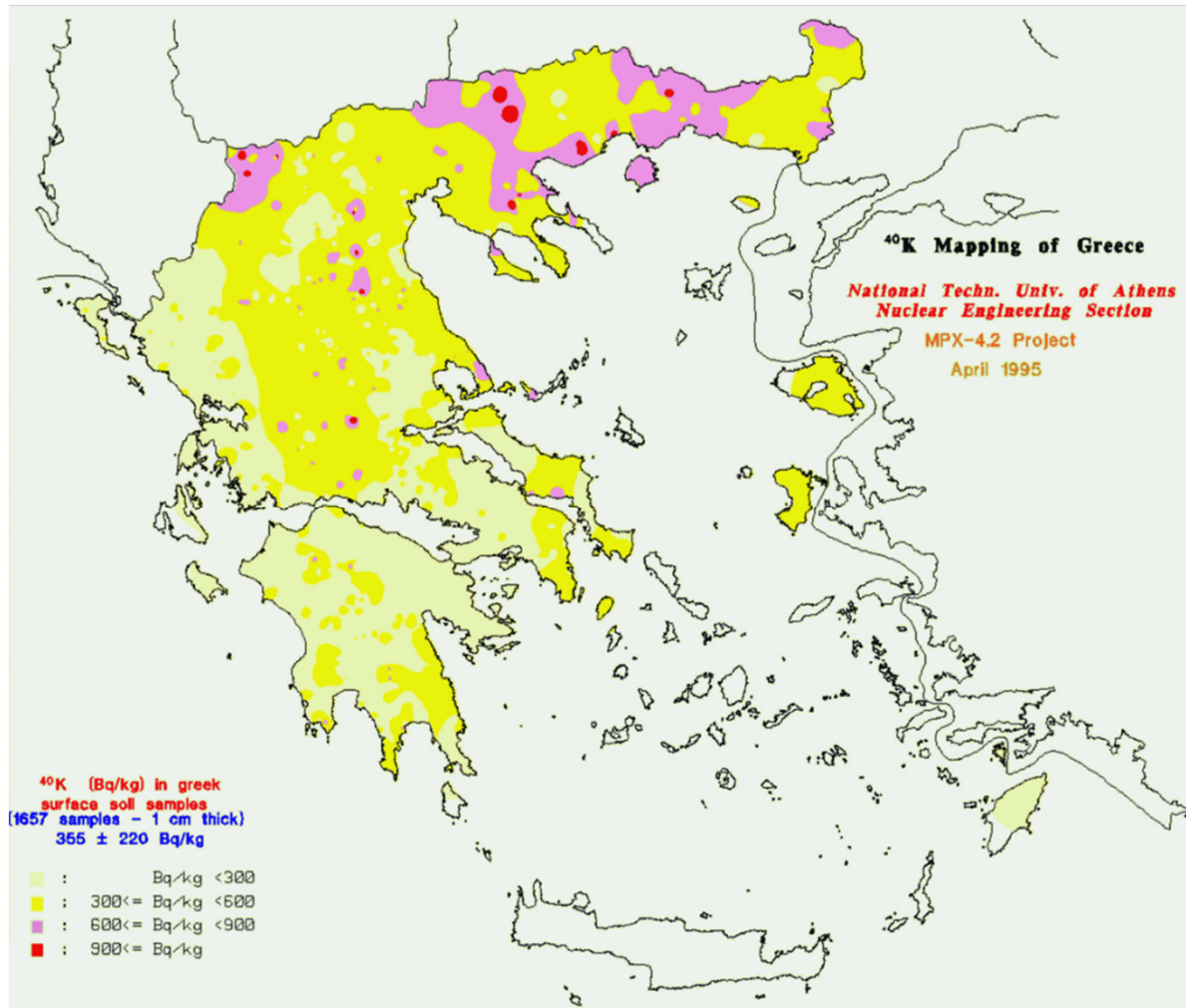
## Φυσική ραδιενέργεια του εδάφους

Ισότοπο	Συγκέντρωση (Bq kg <sup>-1</sup> )		
	Ελλάδα		Παγκόσμια
	Μέση τιμή	Εύρος	Εύρος
<sup>226</sup> Ra	25 19	1 - 238	1 - 43000
<sup>228</sup> Ra	21 16	1 - 193	1 - 900
<sup>40</sup> K	355 220	12 - 1570	10 - 1600

Στο έδαφος υπάρχουν περισσότερα από 50 φυσικά ραδιενεργά ισότοπα, λίγες δεκάδες ακόμα έχουν αποθεθεί λόγω πυρηνικών ατυχημάτων και πυρηνικών δοκιμών



# Χαρτογράφηση του $^{40}\text{K}$ των ελληνικών επιφανειακών χωμάτων



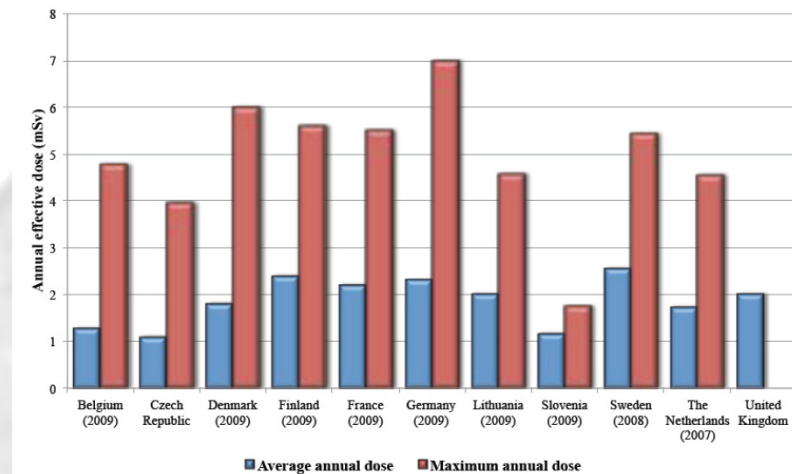
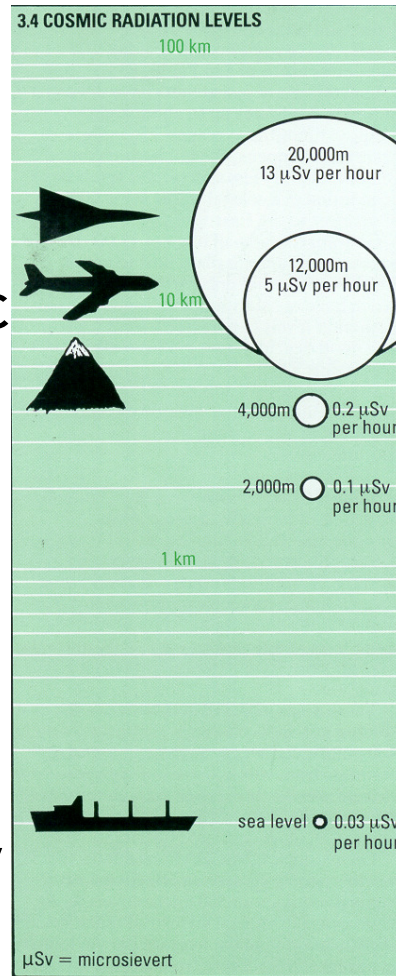
Μέσος ρυθμός δόσης λόγω των φυσικών ραδιενεργών ισοτόπων του εδάφους 40-50nSv/h

Εισαγωγή στις Τεχνολογίες Προστασίας του Περιβάλλοντος



# Κύμανση της δόσης εξαιτίας της κοσμικής ακτινοβολίας με το ύψος

- Πρωτογενής σωματιδιακή ακτινοβολία πολύ υψηλής ενέργειας με εξω-γήινη προέλευση
- Δευτερογενής ακτινοβολία που παράγεται κατά την αλληλεπίδραση της πρωτογενούς με την ατμόσφαιρα.



← ~250-300μSv/year



## Ιατρικές εφαρμογές



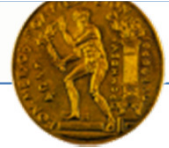
Οι δόσεις σε διαγνωστικές εξετάσεις μπορεί να φτάσουν τις μερικές δεκάδες mSv ενώ στις θεραπευτικές ακτινοβολήσεις είναι τάξεις μεγέθους υψηλότερες





## Από επίσημο κείμενο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (ΕΕ)

...πρωτοβουλία για μια Ευρώπη που χρησιμοποιεί **αποτελεσματικά τους πόρους**, για την αποσύνδεση της οικονομικής ανάπτυξης από τη χρήση των πόρων, τη στήριξη της μετάβασης σε μία **οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα**, την αύξηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας τον εκσυγχρονισμό του τομέα των μεταφορών και την ενθάρρυνση της **ενεργειακής αποδοτικότητας**



## Μετατροπή των αποβλήτων σε πόρο

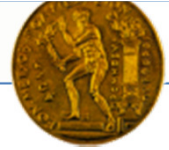
- Κάθε χρόνο στην Ευρωπαϊκή Ένωση απορρίπτονται 2.7 δισ. τόνοι αποβλήτων. Πρέπει να δοθεί μεγαλύτερη έμφαση στην επαναχρησιμοποίηση και την ανακύκλωσή τους
- Η ΕΕ θα τονώσει την αγορά δευτερογενών υλικών και τη χρήση ανακυκλωμένων υλικών μέσω οικονομικών κινήτρων.
- Μέχρι το 2020 το 70% των μη επικίνδυνων αποβλήτων από τις κατασκευές και τις κατεδαφίσεις πρέπει να ανακυκλώνεται



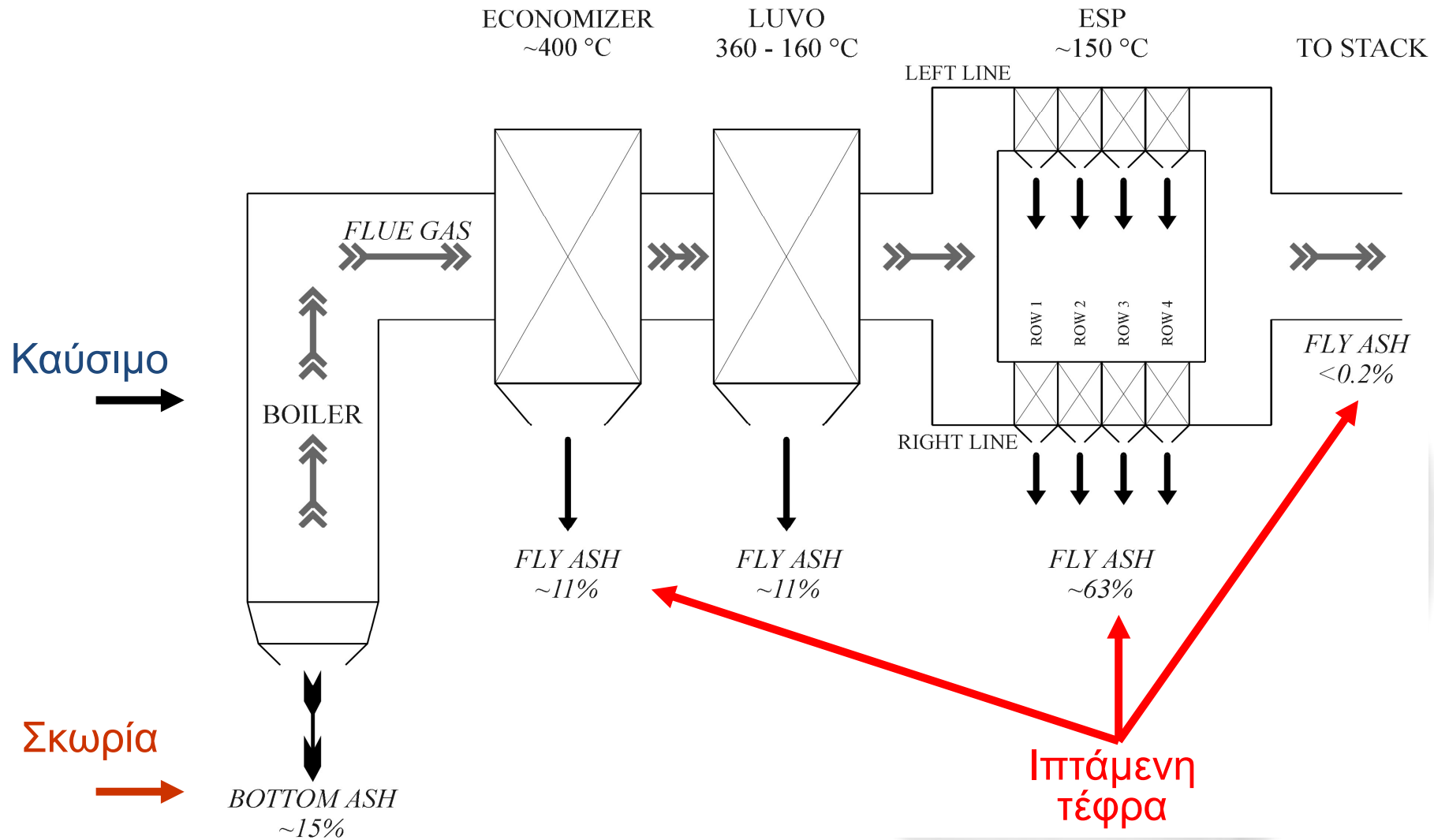


## Παραγωγή διαχείριση & χρήση παραπροϊόντων βιομηχανικών διεργασιών

- Κάθε υλικό που προέρχεται από το έδαφος (ορυκτά, καύσιμα, οικοδομικά υλικά) περιέχει ορισμένα επίπεδα φυσικών ραδιενεργών ισοτόπων.
- Ορισμένα υλικά λόγω τη φύσης ή της προέλευσής τους περιέχουν υψηλότερα επίπεδα φυσικών ραδιενεργών ισοτόπων. Τα υλικά αυτά χαρακτηρίζονται ως **Naturally Occurring Radioactive Materials (NORMs)**.
- Η βιομηχανική επεξεργασία είναι δυνατόν να παράγει προϊόντα, παραπροϊόντα ή απόβλητα με πολύ αυξημένα επίπεδα φυσικών ραδιενεργών ισοτόπων **Technologically Enhanced NORM (TENORM)**.



# Παραγωγή ιπτάμενης τέφρας σε ΑΗΣ





## Ραδιενέργεια λιγνίτη και τεφρών (Bqkg<sup>-1</sup>) ΑΗΣ-4 Μεγαλόπολης

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

\* Για το έτος 1997

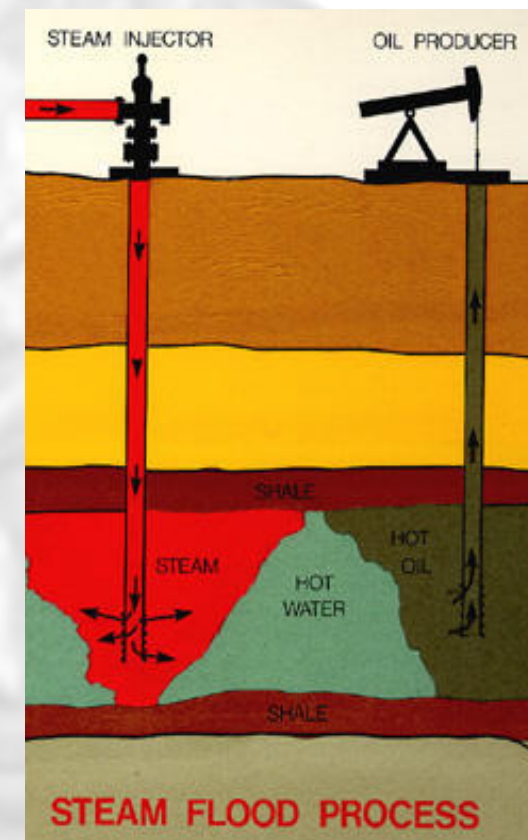
Μέση τιμή της ραδιενέργειας του <sup>226</sup>Ra στο  
ελληνικό έδαφος ~30 Bq/kg



# Υλικά TENORM κατά την εξόρυξη πετρελαίου

Κατά την εξόρυξη πετρελαίου είναι δυνατόν να παράγονται μεγάλες ποσότητες αλάτων, σκωρίας και λάσπης με πολύ υψηλές συγκεντρώσεις ισοτόπων του ραδίου.

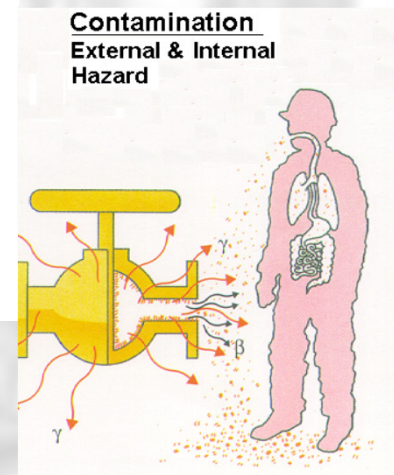
Ισότοπο	Μέσες τιμές ραδιενέργειας σε Bq g <sup>-1</sup>	
	Λάσπη	Σκωρία
<sup>226</sup> Ra	2	13
<sup>210</sup> Pb	2	13
<sup>210</sup> Po	2	13
<sup>228</sup> Ra	0.7	4.4
<sup>228</sup> Th	0.7	4.4





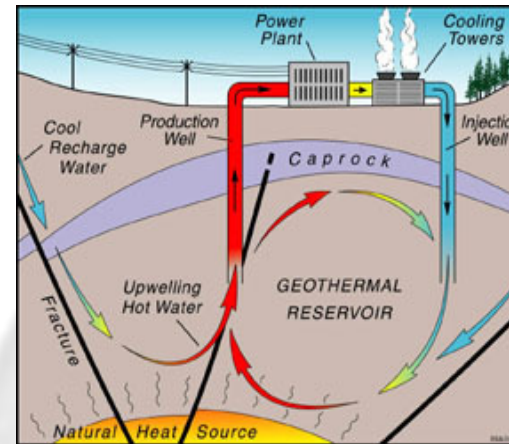
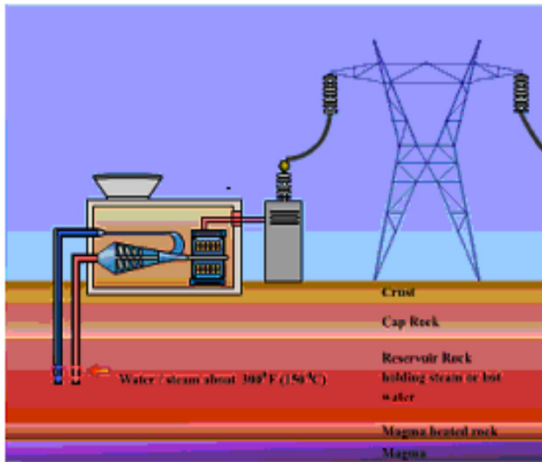
# Υλικά TENORM κατά την εξόρυξη πετρελαίου

Oil field	Sample	$^{226}\text{Ra}$ (Bq/kg)	$^{228}\text{Ra}$ (Bq/kg)
Algeria [22]	Scale	1000–950,000	
Australia [21]	Scale	21,000–250,000	48,000–300,000
Brazil [20]	Scale	19,100–323,000	4210–235,000
Brazil [17]	Scale	121,000–3,500,000	148,000–2,195,000
Brazil [18]	Scale	77,900–2,110,000	101,500–1,550,000
Congo [54]	Scale	97–151	
Egypt [12]	Scale	68,900	24,000
Egypt [42]	Scale	7541–143,262	35,460–368,654
Italy [54]	Scale	< 2.7–2890	
Kazakhstan [30]	Scale	510–51,000	200–10,000
Malaysia [38]	Scale	114,300–187,750	130,120–206,630
Norway [33]	Scale	300–32,300	300–33,500
Saudi Arabia [4]	Scale	0.8–1.5	
Tunisia [54]	Scale	31–1189	
Tunisia [25]	Scale	4300–658,000	
UK [15]	Scale	1000–1,000,000	
USA [40]	Scale	up to 3,700,000	
USA [60]	Scale	15,400–76,100	





# ΤΕΝΟΡΜ κατά την παραγωγή ενέργειας από γεωθερμία



Ισότοπο	Συγκέντρωση σε υπολείμματα ( $Bq\ kg^{-1}$ )
$^{228}Th$	930
$^{228}Ra$	3440
$^{226}Ra$	4880
$^{210}Pb$	3500
$^{210}Po$	3500

Εισαγωγή στις Τεχνολογίες Προστασίας του Περιβάλλοντος



# Βιομηχανία φωσφορικών λιπασμάτων



- Το πρωτογενές υλικό (φωσφατικά ορυκτά) μπορεί ανάλογα με την προέλευσή του να περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις φυσικών ραδιενεργών ισοτόπων
- Κατά τη διαδικασία παραγωγής του φωσφορικού οξέως και των φωσφορικών λιπασμάτων παράγεται φωσφογύψος στον οποίο συγκεντρώνονται τα ισότοπα του ραδίου.

Εισαγωγή στις Τεχνολογίες Προστασίας του

Περιβάλλοντος

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο



# Προϊόντα και παραπροϊόντα βιομηχανίας φωσφορικών λιπασμάτων

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



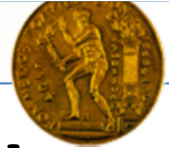


# Μεταφορά και απόθεση φωσφογύψου

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



## Άλλες βιομηχανικές δραστηριότητες που οδηγούν στην παραγωγή TENORM

- Εξόρυξη και επεξεργασία ορυκτών σπανίων γαιών
- Εξόρυξη και επεξεργασία μετάλλων
- Εξόρυξη μεταφορά και χρήση φυσικού αερίου ( $^{210}\text{Pb}$ )
- Βιομηχανία αλουμινίου (red mud)
- Χαλυβουργία ( $^{210}\text{Pb}$ )
- Επεξεργασία υπογείων υδάτων ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ )
- Βιομηχανία κατασκευής πυρίμαχων πλακιδίων
- .....





## Χρήση υλικών TENORM

Σήμερα, η τάση παγκοσμίως είναι τα παραπροϊόντα βιομηχανικών διεργασιών να αξιοποιούνται όσο γίνεται περισσότερο.

Μερικές μόνο χρήσεις:

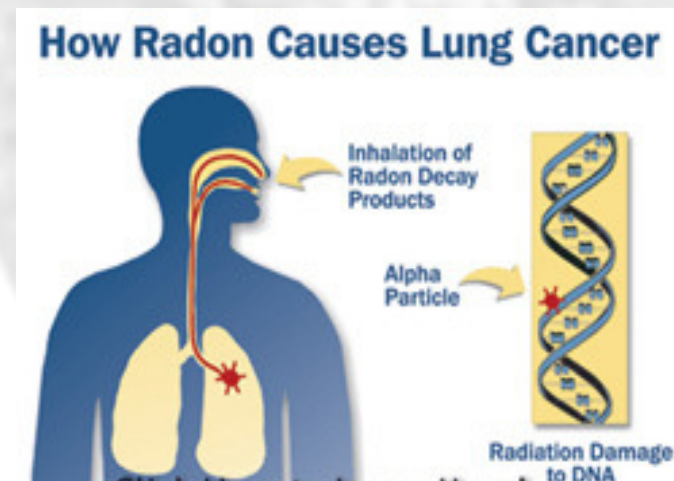
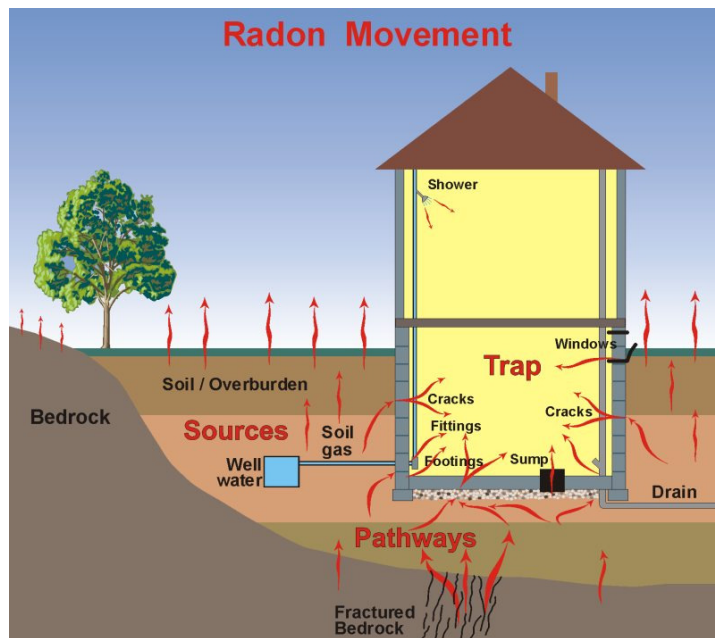
- Ανάκτηση στοιχείων και ιχνοστοιχείων
- Παραγωγή οικοδομικών υλικών (ιπτάμενη τέφρα στην παραγωγή τσιμέντου κ.α.)
- Παραγωγή γαιω-πολυμερών υλικών
- Επιχωματώσεις
- .....

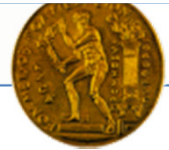


## Ραδόνιο και κατοικία

Το ραδόνιο (Rn) είναι ένα αέριο, άχρωμο, άοσμο και αδρανές. Το ισότοπό του  $^{222}\text{Rn}$  παράγεται από τη διάσπαση του φυσικού ραδιενεργού ισότοπου  $^{226}\text{Ra}$  το οποίο υπάρχει στο έδαφος και σε ότι προέρχεται από αυτό. Τυπικές συγκεντρώσεις του  $^{222}\text{Rn}$  στον αέρα:

- Εξωτερικοί χώροι 2-10 Bq/m<sup>3</sup>
- Εσωτερικό κατοικίας έως χιλιάδες Bq/m<sup>3</sup>





Η χρήση της πυρηνικής τεχνολογίας για παραγωγή ενέργειας, αλλά και για άλλες εφαρμογές, όπως η αφαλάτωση, η παραγωγή ραδιενεργών ισοτόπων ή πρόωση, είναι μία μόνο από τις ανθρώπινες δραστηριότητες που έχουν ενδεχομένως ως συνέπεια την έκθεση του ανθρώπου σε ραδιενεργές ακτινοβολίες.



Εισαγωγή στις Τεχνολογίες Προστασίας του Περιβάλλοντος