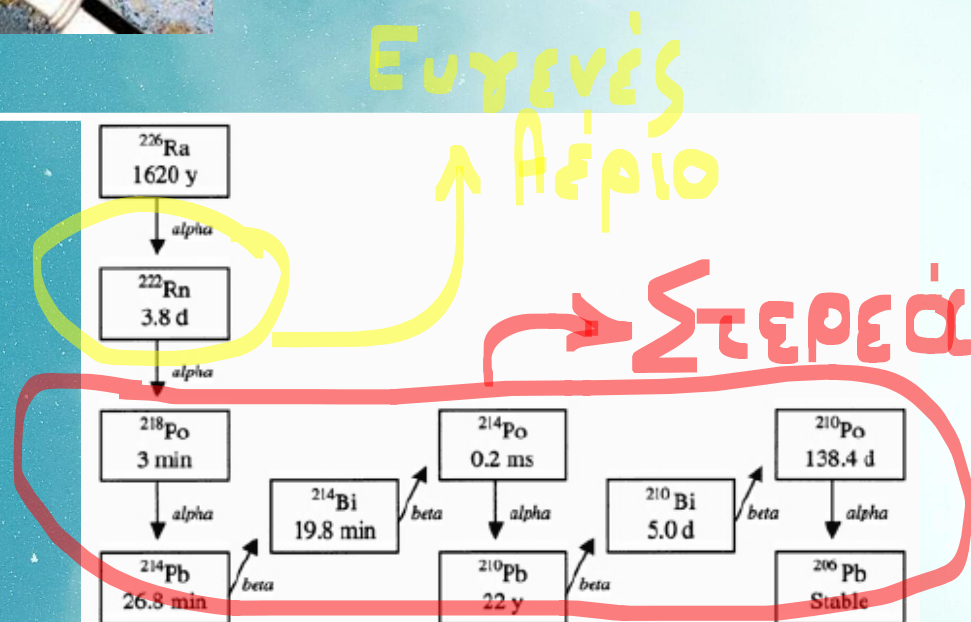
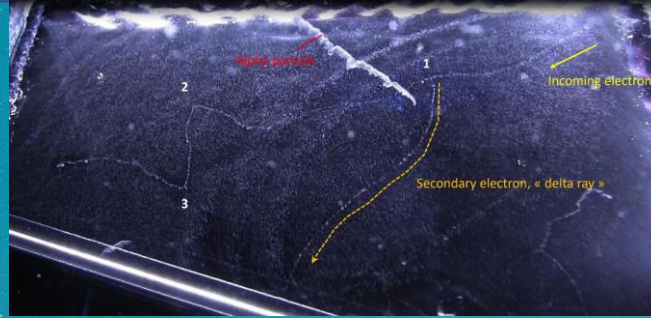


ΡΑΔΟΝΙΟ: ευγένεια και λάμψη!



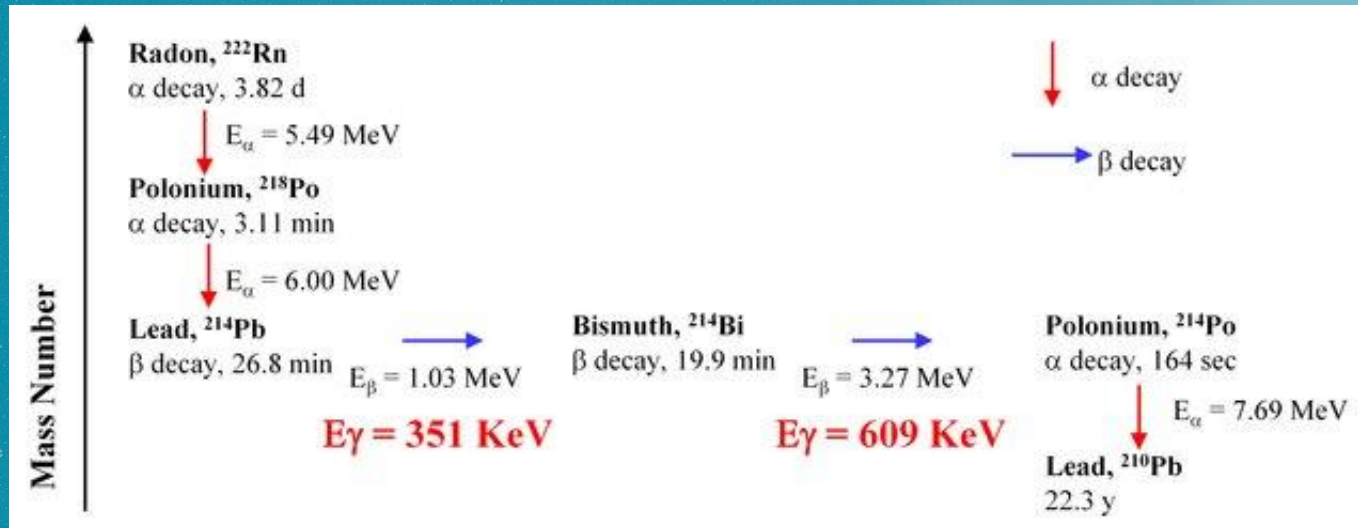
Ιωάννης Καΐσας
Εργαστήριο Πυρηνικής Τεχνολογίας
Πολυτεχνική Σχολή
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης





Το ραδόνιο ^{222}Rn είναι φυσική πηγή ιοντίζουσας ακτινοβολίας και είναι άχρωμο, άοσμο και άγευστο. Ως ευγενές αέριο είναι χημικά αδρανές.

- Εκπέμπει σωματίδια α με κινητική ενέργεια 5,49MeV
- Παράγει θυγατρικά που εκπέμπουν α, β και γ ακτινοβολία



Το ραδόνιο είναι αποτέλεσμα της διάσπασης του ραδίου ^{226}Ra .
Το ^{226}Ra ανήκει στην ραδιενεργό σειρά του Ουρανίου-238 (^{238}U)

Όλα τα υπόλοιπα στοιχεία της σειράς του ^{238}U είναι στερεά,
μόνο το ^{222}Rn είναι αέριο.

Επομένως μόνο αυτό μπορεί να διαφύγει από το έδαφος με τη
διαδικασία της εκροής και της διάχυσης.

Το ραδόνιο διαφεύγει μερικώς από το έδαφος
και κατόπιν διασπάται στα θυγατρικά του,
με χρόνο ημιζωής $T_{1/2}=3,8$ ημέρες



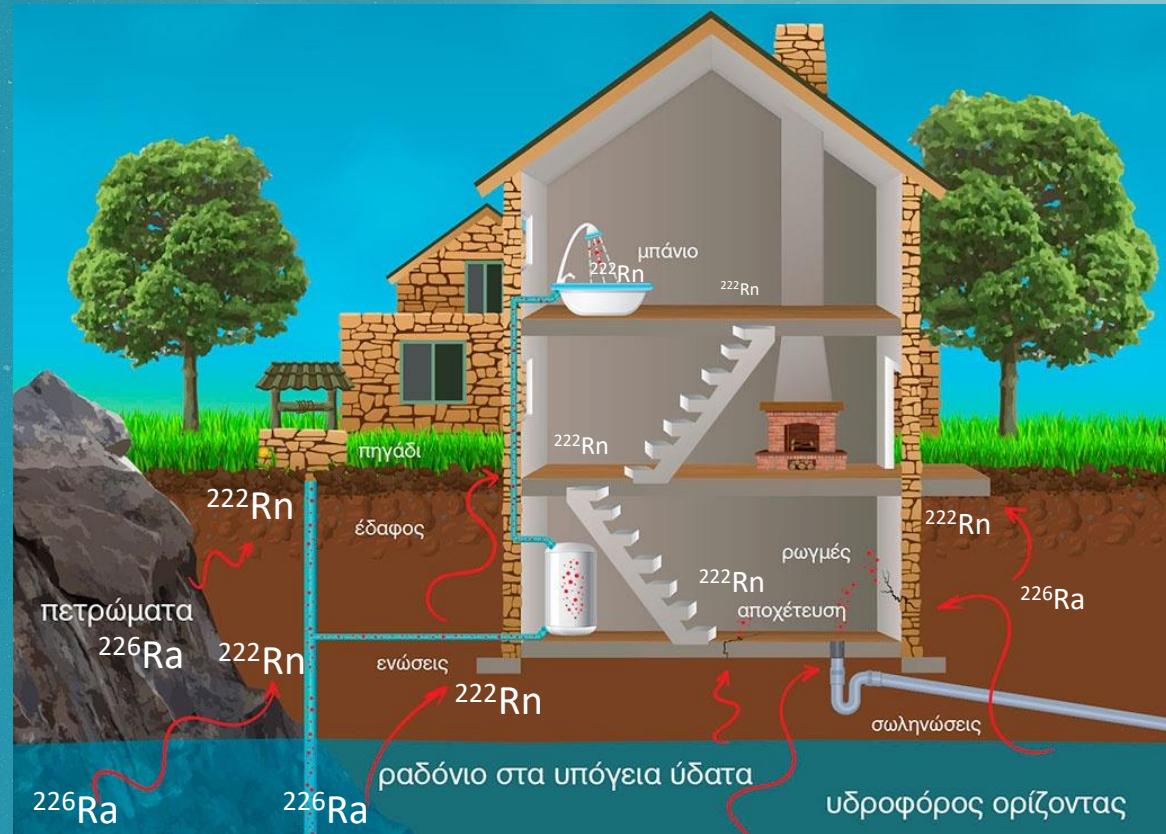
Χώμα Νερό

Το ραδόνιο εκρέει από τις σχισμές των πετρωμάτων στον υπόγειο αέρα ή στα υπόγεια ύδατα. Κατόπιν διαχέεται μέσω του χώματος ή σωληνώσεων στον ατμοσφαιρικό αέρα εκτός ή εντός οικίας.

Το ραδόνιο διαφεύγει από τα υπόγεια ύδατα, όταν αυτά παραμείνουν σε δεξαμενή με ανοιχτή επιφάνεια αέρα, π.χ. σε κεντρικές δεξαμενές ύδρευσης ή επεξεργασίας νερού.

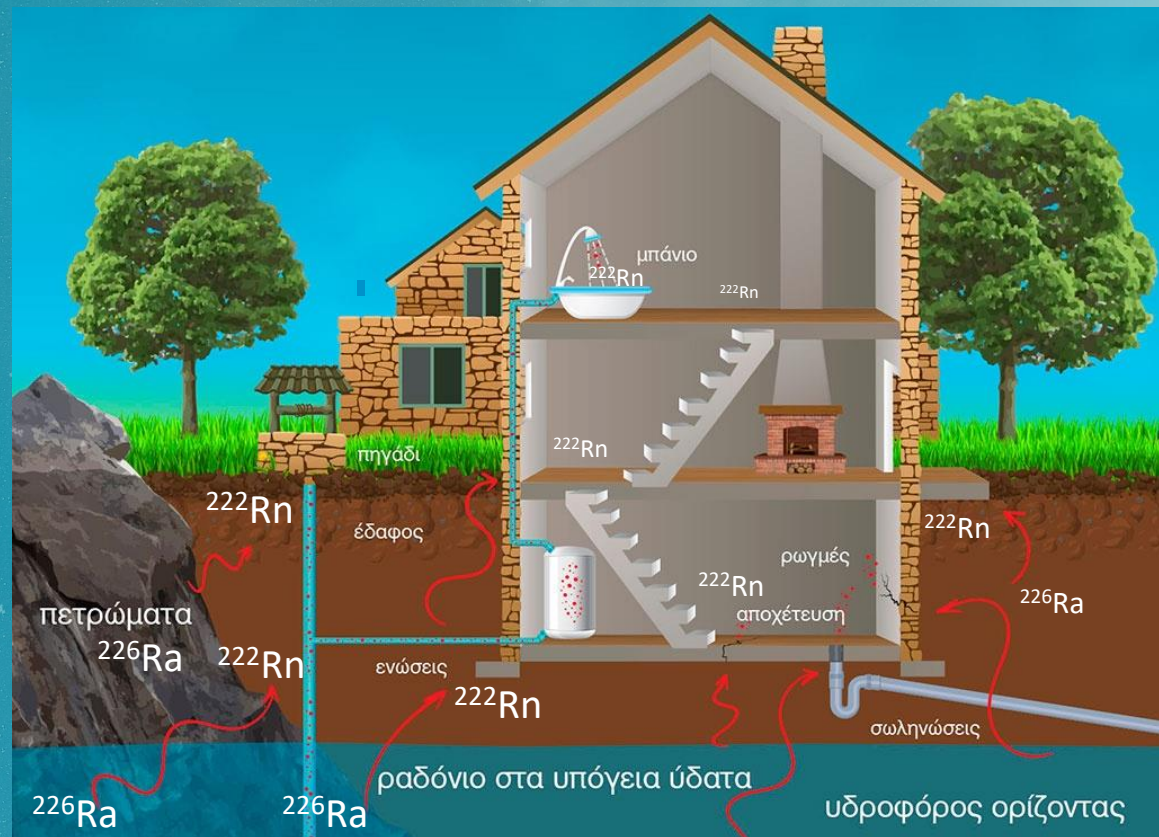
Μηχανισμοί έκλυσης του ραδονίου εντός των κτιρίων:

- σωληνώσεις
- ρωγμές στο δάπεδο και στους τοίχους
- εξαέρωση από την ανάδευση υπόγειων υδάτων εντός του κτιρίου
- Τα οικοδομικά υλικά του κτιρίου που περιέχουν ουρανιούχες πρώτες ύλες παράγουν το δικό τους ραδόνιο



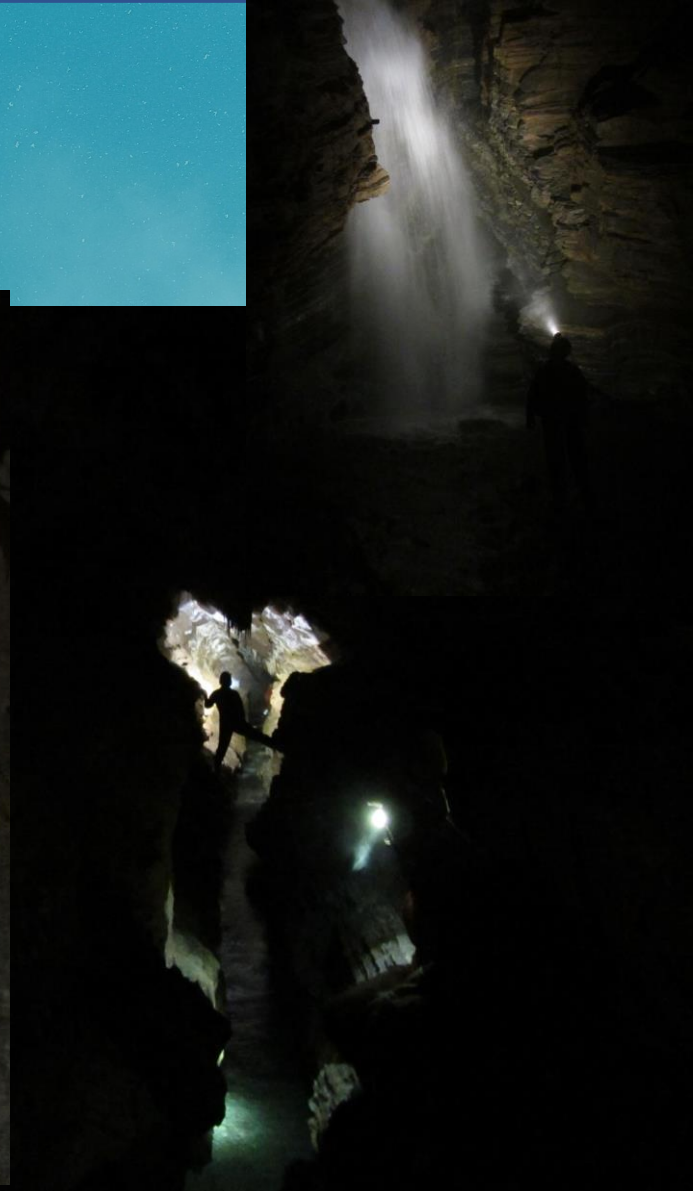
Για παράδειγμα το ραδόνιο εισέρχεται στο εσωτερικό των κτιρίων μέσω:

- Μικρορωγμών στα τσιμεντένια δάπεδα
- Κενών ή ρωγμών στους τοίχους
- Κενών στα σημεία ένωσης του τοίχου και με το δάπεδο
- Διάκενων στα ξύλινα πατώματα
- Κενών στα σημεία εισόδου σωλήνων ύδρευσης και αποχέτευσης
- Διάκενων στις πόρτες και στα παράθυρα (από τα οποία μπορεί και να διαφύγει



Με αντίστοιχους τρόπους εισέρχεται στο εσωτερικό των σπηλαίων μέσω:

- Μικρορωγμών ή ρωγμών
- Υπόγειων υδάτων που μπορεί να αναβλύζουν ή να αναδεύονται εντός του σπηλαίου



Από τι επηρεάζεται η συγκέντρωση του ραδονίου εντός των κτιρίων;

Η συγκέντρωση του ραδονίου εντός των κτιρίων επηρεάζεται από πληθώρα παραγόντων οι κύριοι εκ των οποίων είναι:

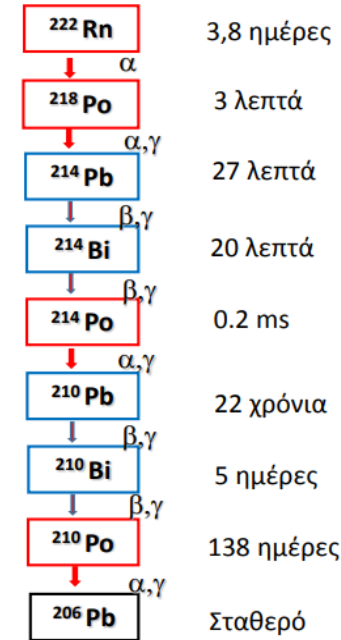
- Ο ρυθμός εκροής ραδονίου από το έδαφος.
- Το είδος θεμελίωσης της οικοδομής.
- Το ύψος της κατοικίας (όροφος στον οποίο βρίσκεται).
- Η εκροή ραδονίου από τα οικοδομικά υλικά.
- Ο εξαερισμός του σπιτιού.
- Η διαφορά πίεσης στο εσωτερικό του κτιρίου και στο εξωτερικό περιβάλλον.

Πώς το ραδόνιο επηρεάζει την υγεία μας;



Το ραδόνιο δεν είναι τόσο επικίνδυνο αυτό καθ' αυτό επειδή ως ευγενές αέριο δεν μένει μέσα στους πνεύμονες.

Ωστόσο τα θυγατρικά του ραδονίου μένουν ως στερεά μέσα στους πνεύμονες και σχετίζονται με την εμφάνιση καρκίνου. Κυρίως μέσω διάσπασης α εκπέμπουν ακτινοβολία που επιδρά στο DNA των κυττάρων άμεσα ή έμμεσα με την δημιουργία ελεύθερων ριζών



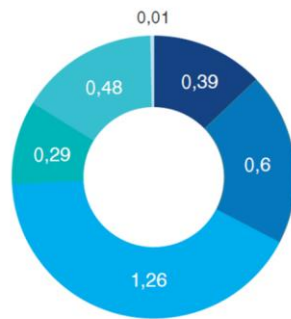
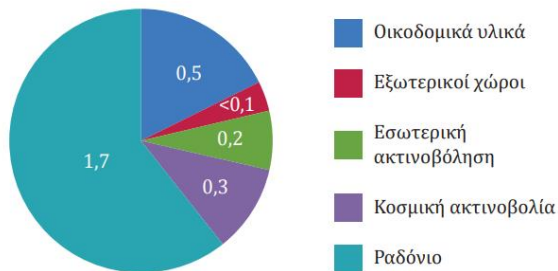
Το ^{218}Po και το ^{214}Po είναι τα θυγατρικά του ραδονίου που είναι υπεύθυνα για το μεγαλύτερο ποσοστό της δόσης λόγω του ραδονίου

Το ραδόνιο είναι η δεύτερη αιτία καρκίνου του πνεύμονα μετά το τσιγάρο.

- Το κάπνισμα σε χώρους με ραδόνιο αυξάνει την δόση από τα θυγατρικά του ραδονίου γιατί αυτά προσκολλώνται στον καπνό.

Η ακτινοβολία που δεχόμαστε από το ραδόνιο είναι περίπου η μισή επί το σύνολο που λαμβάνουμε ανά έτος

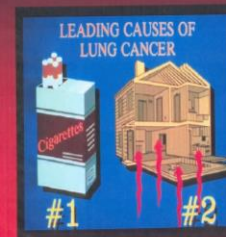
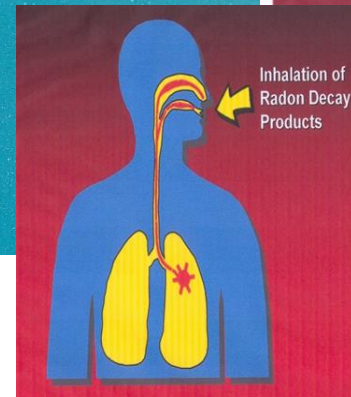
Μέση ετήσια ενεργός δόση ανά άτομο του πληθυσμού από το περιβάλλον (mSv)



■ Κοσμική ακτινοβολία ■ Ιατρικές εξετάσεις ■ Ραδόνιο
■ Κατάποση ■ Εξωτερική γ ακτινοβολία ■ Εκλύσεις ραδιενέργειας

Πηγές έκθεσης σε ακτινοβολία παγκοσμίως, (δόσεις σε mSv)
UNSCEAR, REPORT 2008, Vol. I, Annex B

Radon is 2nd leading cause of lung cancer ... and lung cancer death



Η διαβίωση καθ' όλη την διάρκεια της ζωής σε οικία που έχει μέση συγκέντρωση ραδονίου ίση με 300 Bq/m³ ισοδυναμεί με 4 αξονικές τομογραφίες ή 400 ακτινογραφίες θώρακος

Από τα Bq/m³ στα mSv

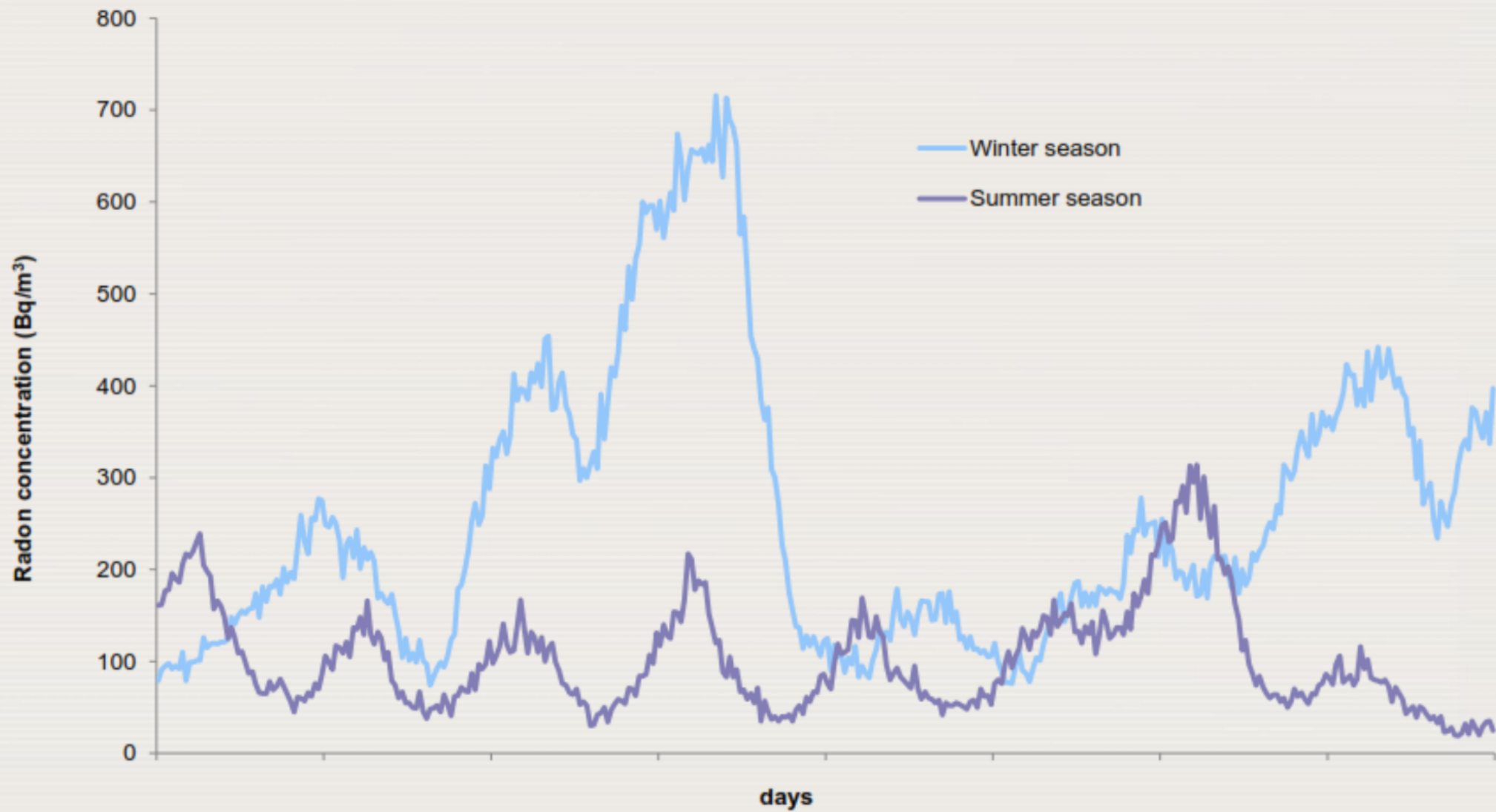
Effective dose for 2000 h at 300 Bq/m³ with different conversions

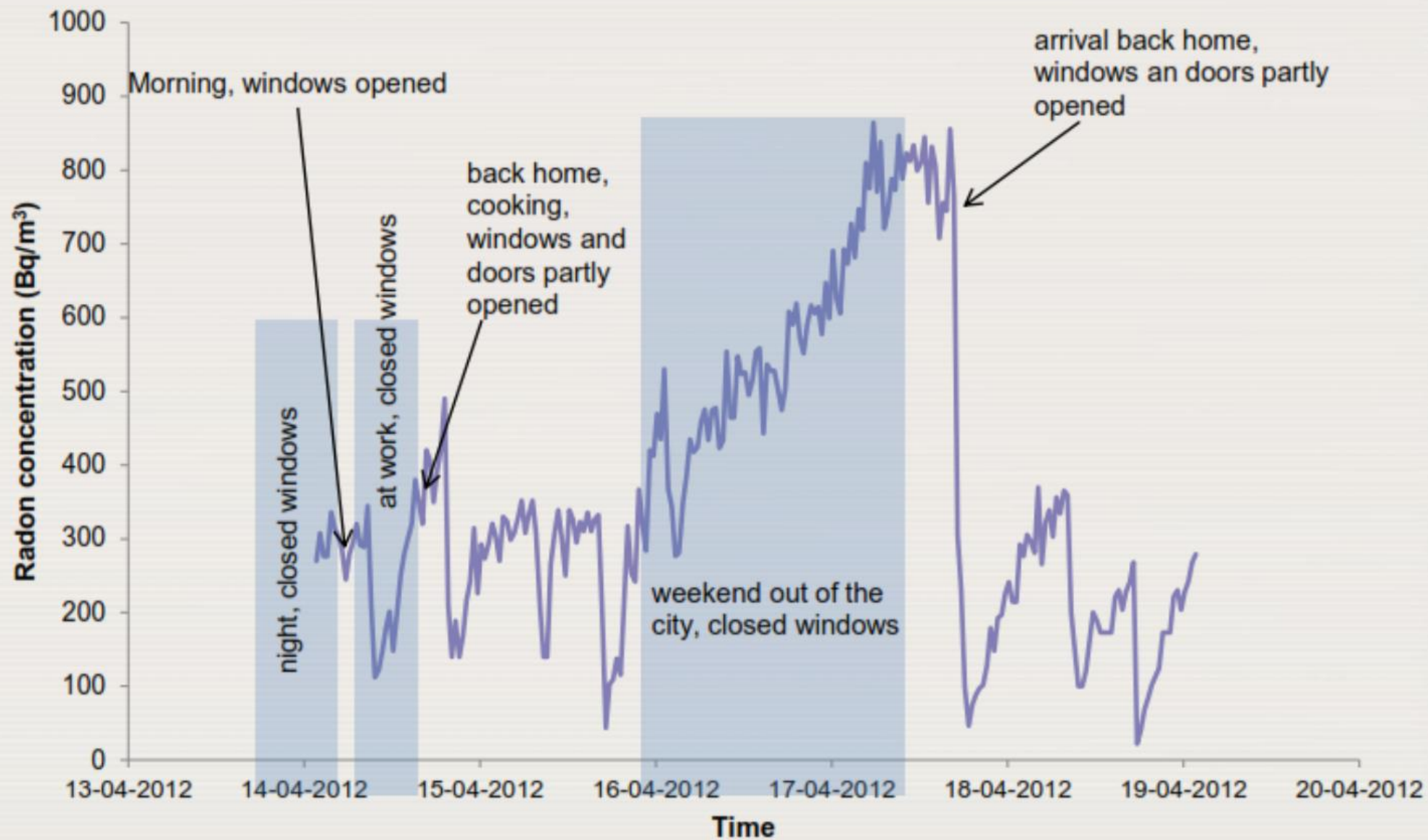
Quantity	Value	Standard uncertainty	Contribution to uncertainty	Index
C	300 Bq/m ³	50 Bq/m ³	0.32 mSv	53.6 %
t	2000 h	11.5 h	0.011 mSv	0.0 %
F	0.4	0.0577	0.28 mSv	40.2 %
C_{eq}	120 Bq/m ³	26.5 Bq/m ³		
C_p	$668 \cdot 10^{-6}$ mJ/m ³	$147 \cdot 10^{-6}$ mJ/m ³		
k_u	$5.5682 \cdot 10^{-6}$ mJ/JBq	$1 \cdot 10^{-9}$ mJ/JBq	$340 \cdot 10^{-6}$ mSv	0.0 %
P_{RnF}	1.34 mJ h/m ³	0.30 mJ h/m ³		
$k_{ICRP-65}$	1.43 mSv · m ³ /(mJ · h)	0.081 mSv · m ³ /(mJ · h)	0.11 mSv	6.2 %
H	1.911 mSv	0.435 mSv		
$k_{ICRP-137}$	3 mSv · m ³ /(mJ · h)	0.5 mSv · m ³ /(mJ · h)	0.39 mSv	
H	4.0 mSv	1.0 mSv		

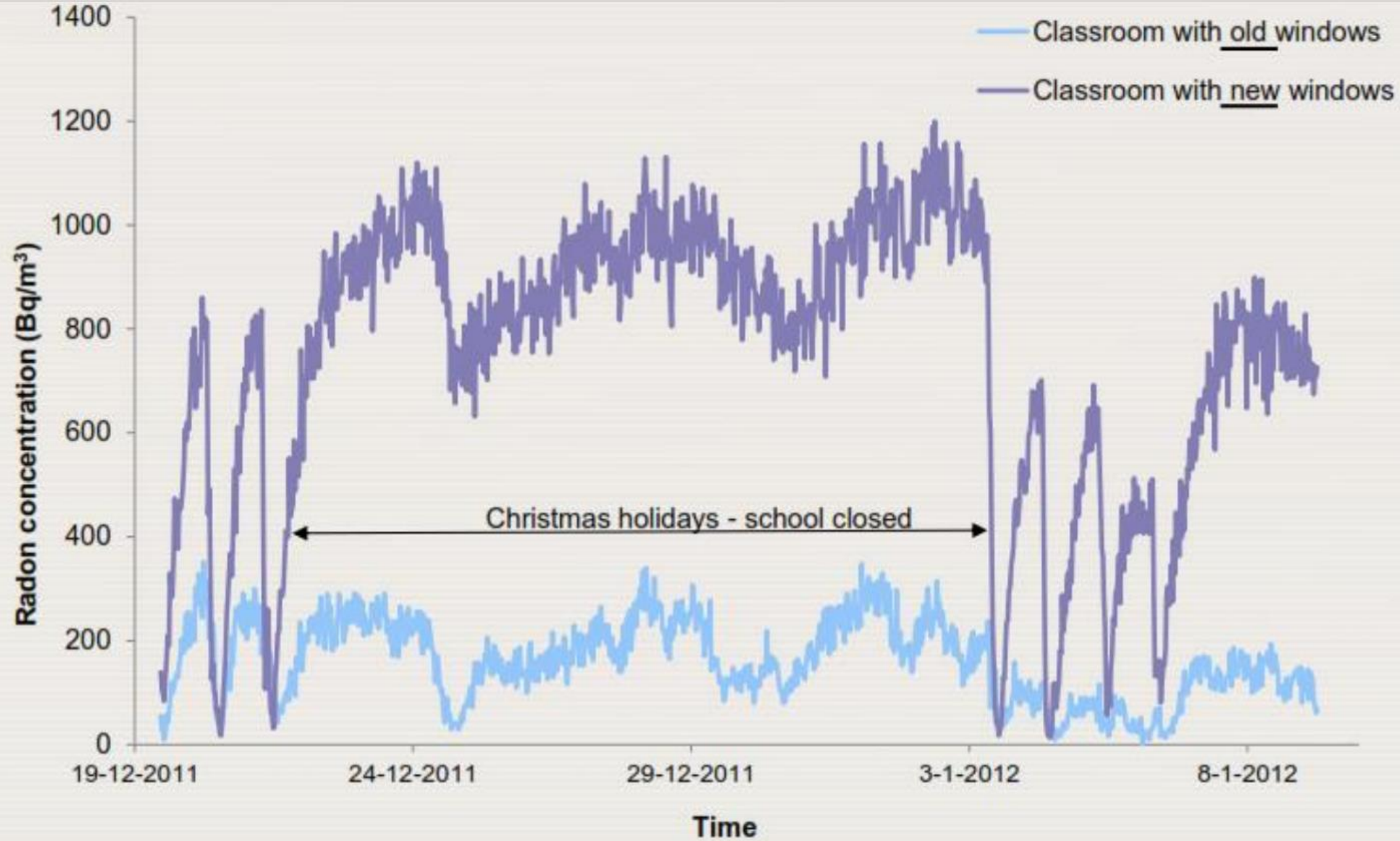
For 8700 h in a year:
(17.4 ± 4.2) mSv

Περίπλοκο, αλλά γίνεται!

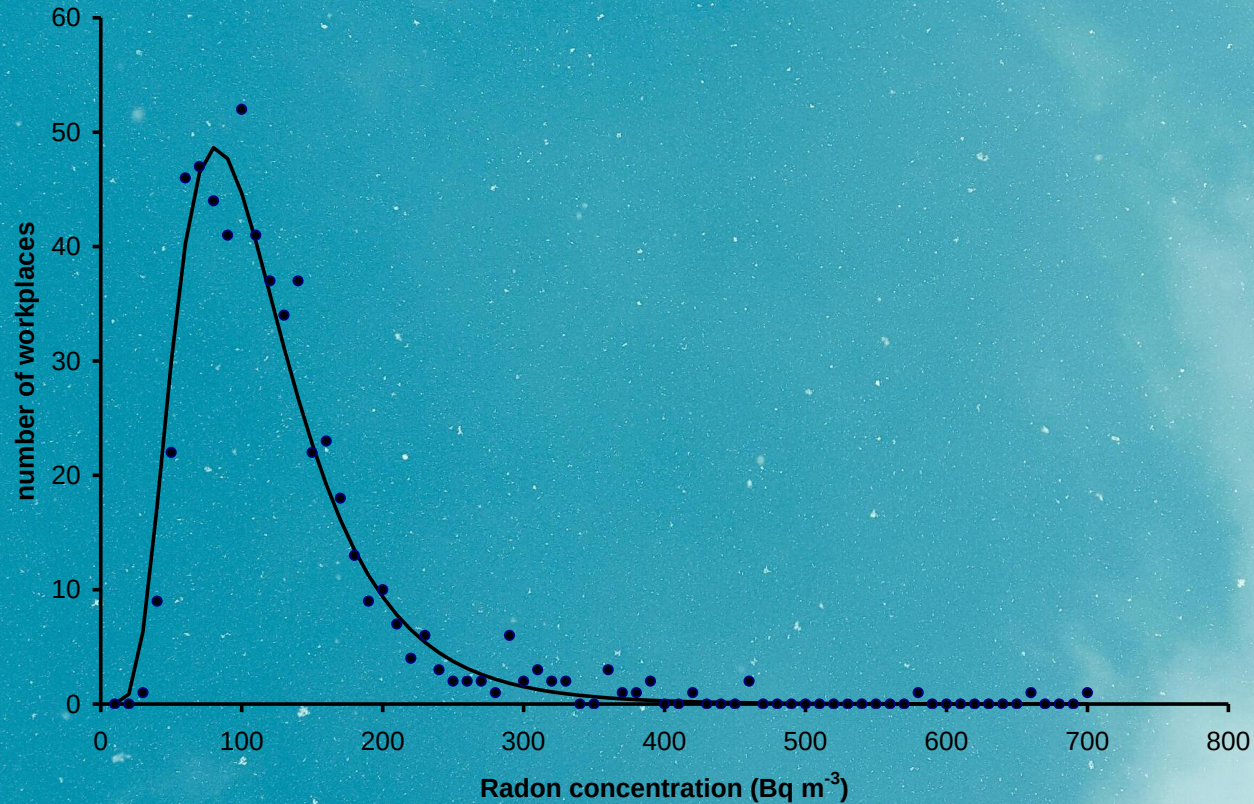
**Ας δούμε κάποιες
μετρήσεις**







Μελέτη συγκεντρώσεων Ραδονίου σε χώρους εργασίας στην Ελλάδα



No	Prefecture	Sample	AM (Bq m ⁻³)	GM (Bq m ⁻³)	Range (Bq m ⁻³)	> 200 Bq m ⁻³	> 400 Bq m ⁻³
1	Thessaloniki	25	105	99	55-200	0	0
2	Larisa	31	144	140	108-270	3	0
3	Magnisia	19	108	96	51-288	2	0
4	Serres	25	130	112	32-356	5	0
5	Dodekanisos	49	112	100	35-357	3	0
6	Kozani	15	94	85	49-228	1	0
7	Kavala	31	103	94	36-210	1	0
8	Imathia	15	66	60	37-155	0	0
9	Evros	48	110	101	43-312	3	0
10	Kiklades	44	92	86	51-195	0	0
11	Chalkidiki	36	181	167	56-381	12	0
12	Xanthi	19	229	209	110-458	8	1
13	Kilkis	19	186	175	101-386	6	0
14	Lasithi	11	96	87	38-153	0	0
15	Florina	50	117	114	55-364	3	0
16	Kastoria	45	110	100	35-273	2	0
17	Samos	44	153	119	47-695	6	4
18	Grevena	10	133	131	107-180	0	0
19	Evritania	25	63	57	29-131	0	0

Μελέτη συγκεντρώσεων Ραδονίου σε χώρους εργασίας στην Ελλάδα

	<i>Number of Workplaces</i>	<i>Arithmetic mean radon concentration (Bq m⁻³)</i>
Ground floor	395	129 ± 77
First floor	138	111 ± 48
Second floor	20	97 ± 77
Above second floor	8	65 ± 48

Τι μπορεί να κάνει κάποιος για να μειώσει τα επίπεδα ραδονίου στο σπίτι του ή σε χώρους εργασίας;

Αρχικά θα πρέπει να γίνει μέτρηση στους υπό έλεγχο χώρους. Με αίτηση στην Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας ή σε εξουσιοδοτημένο εργαστήριο μετρήσεων, αποστέλλεται παθητικός ανιχνευτής που τοποθετείται για διάστημα μερικών εβδομάδων εντός του χώρου.

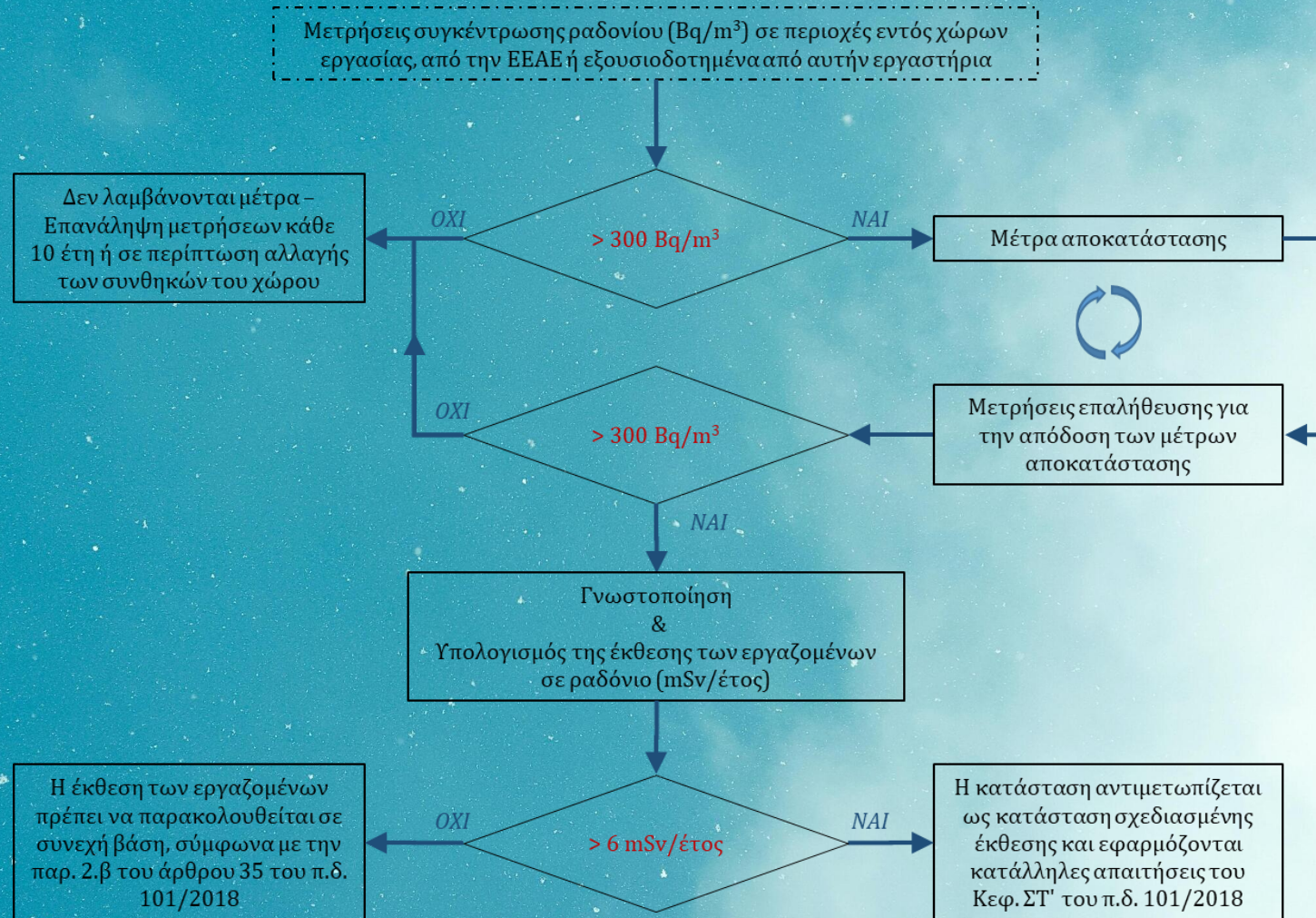
Αν διαπιστωθεί σημαντική συγκέντρωση (επίπεδο αναφοράς 300 Bq/m^3 για την Ελλάδα)
Τότε ...

Τι μπορεί να κάνει κάποιος για να μειώσει τα επίπεδα ραδονίου στο σπίτι του ή σε χώρους εργασίας;

Πίνακας 1: Γενική εκτίμηση της απόδοσης των μέτρων μείωσης συγκεντρώσεων ραδονίου για διάφορα είδη χώρων εργασίας.
* = μικρή απόδοση ή δεν εφαρμόζεται ** = μέτρια απόδοση *** = αυξημένη απόδοση.

	Κτίρια γραφείων, σχολείων κλπ.	Κέντρα θερμαλισμού (Spra)	Εγκαταστάσεις διύλισης υπόγειων υδάτων	Διάνοιξη σηράγγων σε ουρανιούχα πετρώματα	Τουριστικά σπήλαια	Ορυχεία
Φυσικός εξαερισμός με άνοιγμα των παραθύρων ανά τακτά χρονικά διαστήματα (π.χ. σε κάθε διάλειμμα)	***	**	**	*	*	*
Μηχανικά Συστήματα Εξαερισμού	***	**	**	**	*	**
Ολιγόλεπτη αναμονή πριν την είσοδο για τον εξαερισμό του χώρου	*	***	***	*	*	*
Ακριβής επισήμανση των πηγών ραδονίου στον χώρο	**	***	***	**	**	**
Προγραμματισμός του χρόνου παραμονής ανάλογα με τις εποχιακές διακυμάνσεις της συγκέντρωσης	*	**	**	*	***	***

ΕΕΑΕ: Κατευθυντήριες οδηγίες για έκθεση εργαζομένων στο ραδόνιο 2020



Χρήσιμα - Βιβλιογραφία

<https://eeae.gr/>

<https://nuctech.ee.auth.gr/lab/>

<https://eody.gov.gr/>

<https://www.iaea.org/topics/radiation-protection/radon/webinars>

<https://www.iaea.org/topics/radiation-protection/radon/training-material>



Ευχαριστώ για την προσοχή σας

<https://nuctech.ee.auth.gr/lab/>