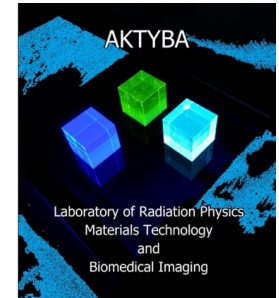


10 Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικών Επιστημών στην Υγεία:  
Καινοτομίες και Προοπτικές  
22-23 Σεπτεμβρίου 2023



## Πιλοτικές Μετρήσεις Ραδονίου σε Σχολικές Μονάδες του Σχολικού Δικτύου S.Ind.Ai.R. για την Έρευνα της Ποιότητας του Αέρα Εσωτερικών Χώρων στα Σχολεία

Ευάγγελος Μπάτρης<sup>1</sup>, Ευαγγελία Γεωργάκη<sup>2</sup>, Χρήστος Μιχαήλ<sup>1</sup>, Γιώργος Φούντος<sup>1</sup>,  
Δημήτρης Νικολόπουλος<sup>3</sup>, Ιωάννης Βαλαής<sup>1</sup>, Κωνσταντίνος Μουστράς<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Εργαστήριο Ακτινοφυσικής, Τεχνολογίας Υλικών και Βιοϊατρικής Απεικόνισης, ΑΚΤΥΒΑ, Τμήμα Μηχανικών Βιοϊατρικής, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, 122 10 Αθήνα, Ελλάδα

<sup>2</sup>Τμήμα Διεθνών και Ευρωπαϊκών Σπουδών, Πανεπιστήμιο Πειραιά, 18534 Πειραιάς, Ελλάδα

<sup>3</sup>Τμήμα Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, 122 41 Αιγάλεω, Ελλάδα

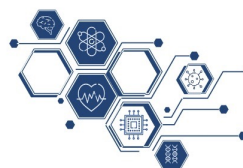
<sup>4</sup>Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, 122 41 Αιγάλεω, Ελλάδα



Διοργανωτές



# 1. Εισαγωγή-Σκοπός



1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικών Επιστημών στην Υγεία:  
Καινοτομίες και Προοπτικές  
22-23 Σεπτεμβρίου 2023

- Η ποιότητα του αέρα επιδρά στην ανθρώπινη υγεία, ασφάλεια, φυσιολογία και παραγωγικότητα. Το σχολικό δίκτυο **S.Ind.Ai.R. (School Network for Indoor Air Quality and Radon - <https://sindair.blogspot.com/>)** ερευνά και ενημερώνει για τις συγκεντρώσεις Ραδονίου, την ατμοσφαιρική ρύπανση, τους δείκτες ποιότητας αέρα και θερμικής καταπόνησης στα σχολεία.
- Το **2023** ερευνώνται οι **συγκεντρώσεις Ραδονίου**, πρώτης αιτίας **καρκίνου του πνεύμονα** για μη καπνιστές. Η έρευνα φιλοδοξεί να συμβάλει στην εφαρμογή του **Εθνικού Σχεδίου Δράσης για την αντιμετώπιση του Ραδονίου (ΕΣΧΕΔΡΑ)**.
- Το Ραδόνιο είναι αδρανές ραδιενεργό αέριο του υπεδάφους που διέρχεται από ρωγμές και πόρους του εδάφους ως το έδαφος και τα ύδατα. Από εκεί εισέρχεται στους εσωτερικούς χώρους μέσω ρωγμών στα κτήρια ή από τα οικοδομικά υλικά και συσσωρεύεται. Το ίδιο το Ραδόνιο δεν αφήνει κατάλοιπο στο αναπνευστικό σύστημα, αλλά **τα επίσης ραδιενεργά θυγατρικά προϊόντα της ραδιενεργού διάσπασής του παραμένουν στο αναπνευστικό σύστημα και το ακτινοβολούν, προκαλώντας **καρκινογένεση****.
- Στην **Ευρωπαϊκή Ένωση** η **τιμή αναφοράς (για λήψη μέτρων)** για τη μέση τιμή συγκέντρωσης Ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους είναι **300 Bq/m<sup>3</sup>**. Στις **ΗΠΑ** είναι αυστηρότερη, **148 Bq/m<sup>3</sup>**.



Ασφάλεια

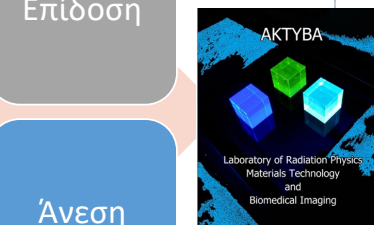


Επίδοση

Ο αέρας επηρεάζει:



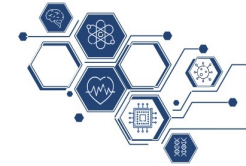
Υγεία



Άνεση



## 2. Μέθοδοι και Υλικά



1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικών Επιστημών στην Υγεία:  
Καινοτομίες και Προοπτικές  
22-23 Σεπτεμβρίου 2023



### Μετρήσεις σε σχολικές αίθουσες

Η μέτρηση για τη μέση τιμή συγκέντρωσης Ραδονίου γίνεται συνήθως με παθητικά δοσίμετρα σε απόσταση άνω του μισού μέτρου από τα τοιχώματα και πάνω από ένα μέτρο από το πάτωμα, για μεγάλο χρονικό διάστημα (3 μήνες ως ένα χρόνο) καθώς παρατηρείται σημαντική ημερήσια και εποχική μεταβλητότητα στη συγκέντρωση του Ραδονίου στον εισπνεόμενο αέρα.

### Όργανα μέτρησης

Η παρακολούθηση της συγκέντρωσης μπορεί να γίνει ακόμη και με απλά ενεργητικά όργανα (Radon monitors). Το σχολικό δίκτυο S.Ind.Ai.R. (<https://sindair.blogspot.com/>) διεξάγει πιλοτικές μετρήσεις συγκέντρωσης Ραδονίου σε σχολεία της χώρας. Γίνονται μετρήσεις σε αίθουσες ενδιαφέροντος με το όργανο παρακολούθησης Ραδονίου RadonEye BLE.

### Ετήσια δόση στον πνεύμονα

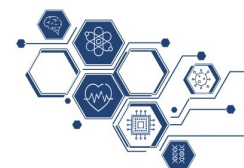
Από τη μέση συγκέντρωση κατά τις σχολικές ώρες υπολογίζεται η ετήσια δόση στον πνεύμονα, υποθέτοντας ότι

α) βρίσκεται στην αίθουσα τις εργάσιμες ώρες και

β) 24ωρη έκθεση σε  $200 \text{ Bq/m}^3$  δίνει σε ενήλικα ετήσια δόση  $1,2 \text{ mSv}$ , ενώ η δόση σε έφηβο δε διαφέρει σημαντικά (Kendall et al, 2005).



## 2. Μέθοδοι και Υλικά

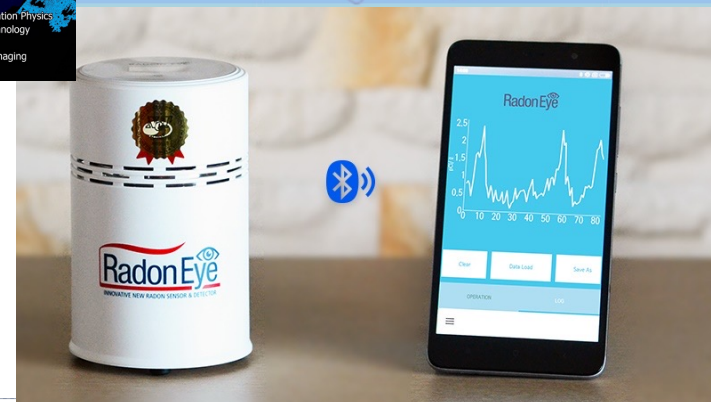
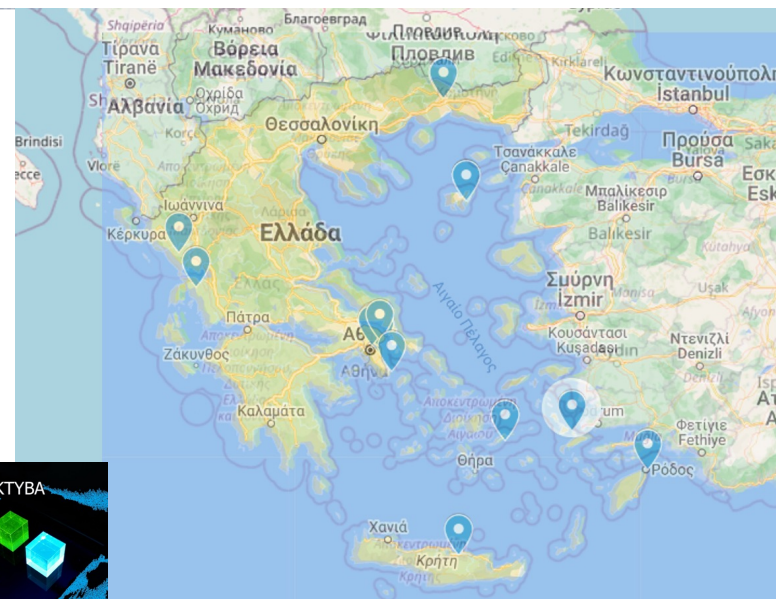


1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικών Επιστημών στην Υγεία:  
Καινοτομίες και Προοπτικές  
22-23 Σεπτεμβρίου 2023

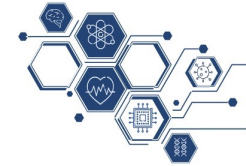
Γενικά, η Ελλάδα έχει χαμηλή συγκέντρωση Ραδονίου (κίτρινες περιοχές) και μερικές περιοχές με κάπως ψηλότερη συγκέντρωση (πορτοκαλί περιοχές) κυρίως στη Βόρεια Ελλάδα, κοντά σε ραδιενεργά κοιτάσματα. Στην περιοχή με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση, στη Θεσπρωτία, η τιμή είναι 511 Bq/m<sup>3</sup>, σχεδόν διπλάσια της ευρωπαϊκής τιμής αναφοράς και τετραπλάσια της αμερικανικής.

Το SINDAIR πλαισιώνεται από πολλά σχολεία της Αττικής, αλλά και σχολεία της περιφέρειας, από περιοχές που έχουν υψηλές συγκεντρώσεις Ραδονίου (πορτοκαλί περιοχές), ή περιοχές όπου δεν έχουν γίνει αρκετές μετρήσεις.

Τον Απρίλιο 2023 στείλαμε στα σχολεία του δικτύου το ενεργητικό όργανο μέτρησης του Ραδονίου RadonEye. Είναι μικρό, εύχρηστο και επικοινωνεί μέσω Bluetooth με έξυπνα κινητά. Είναι φτηνό και αρκετά αξιόπιστο για να μας ειδοποιεί όταν απαιτείται λήψη μέτρων προστασίας. Τοποθετείται σχεδόν οπουδήποτε. Μετράμε για τουλάχιστον 24 ώρες, γιατί η συγκέντρωση του Ραδονίου μεταβάλλεται συνεχώς.



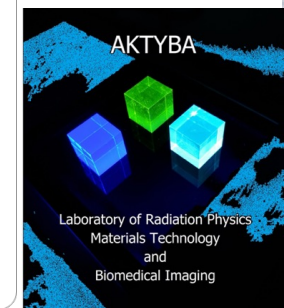
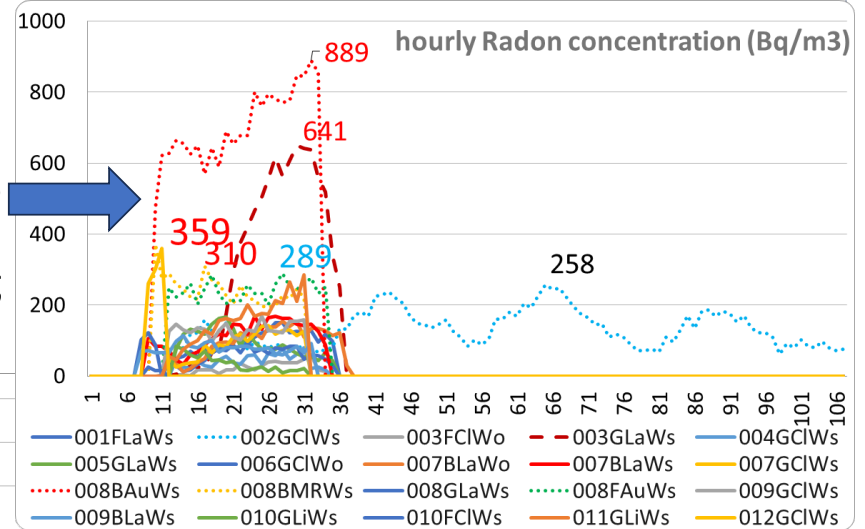
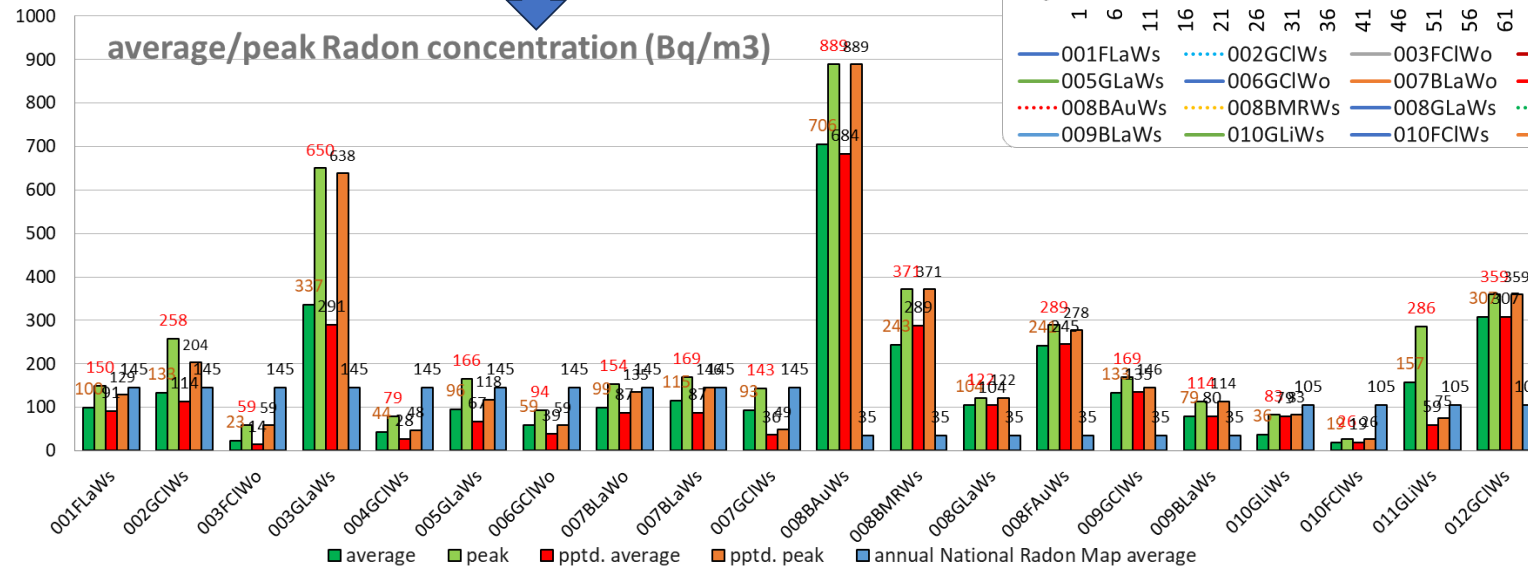
### 3. Αποτελέσματα



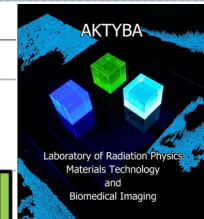
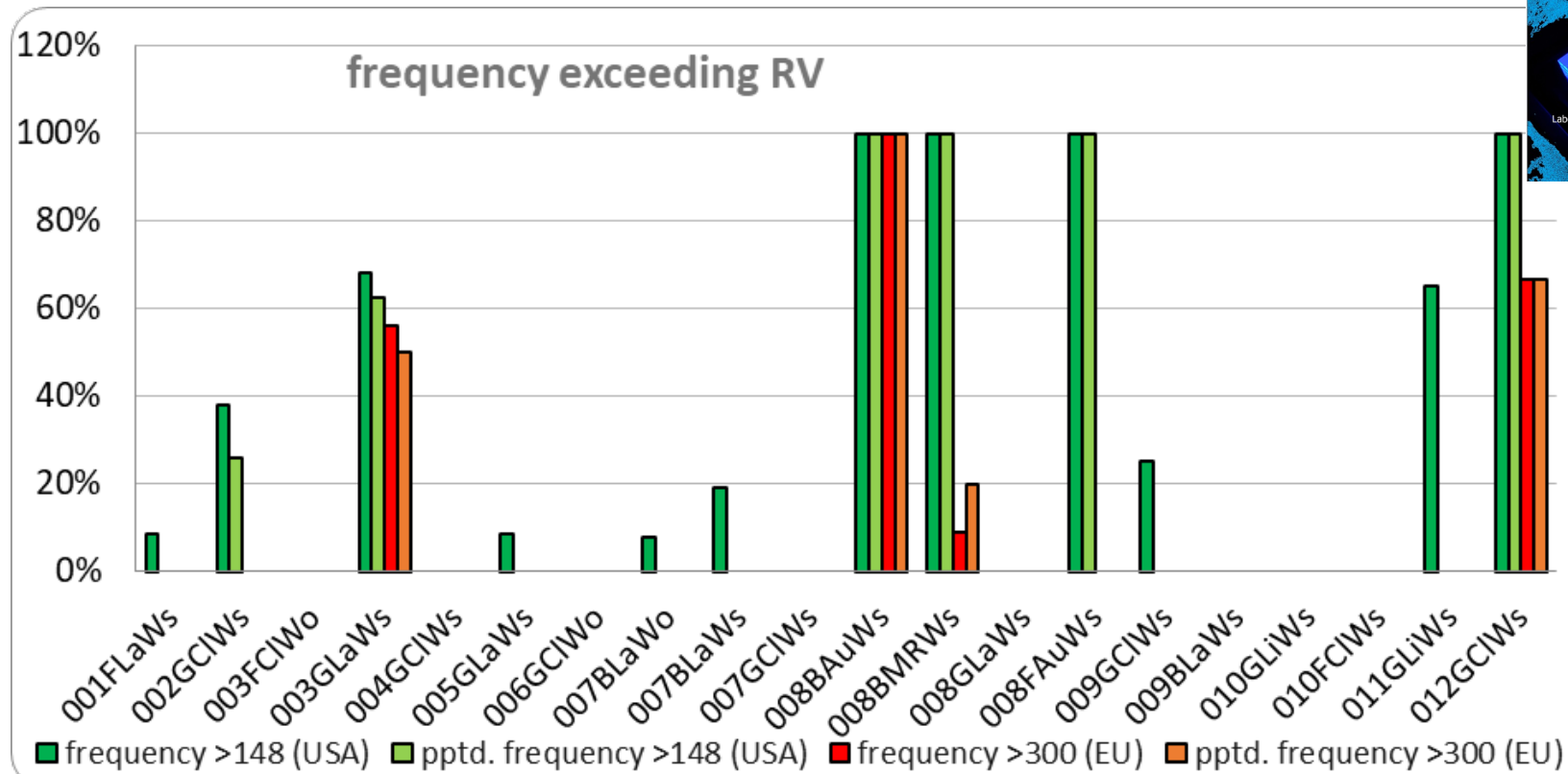
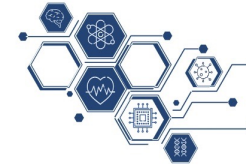
## 20 αίθουσες (7 σχολεία Β. Ελλάδας, 5 σχολεία νήσων του Αιγαίου).

Σχήμα 2. Μέση (average) και μέγιστη (peak) τιμή 24ώρου, μέση τιμή σχολικών ωρών (rptd. average) και μέγιστη σχολ. ωρών (rptd. peak) και τιμές Εθνικού Χάρτη Ραδονίου.

Σχήμα 1. Ημερήσια διακύμανση ανά ώρα της ημέρας (ώρα 00:00 = τιμή: 1)

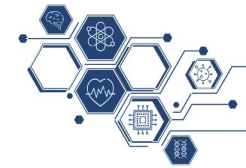


### 3. Αποτελέσματα

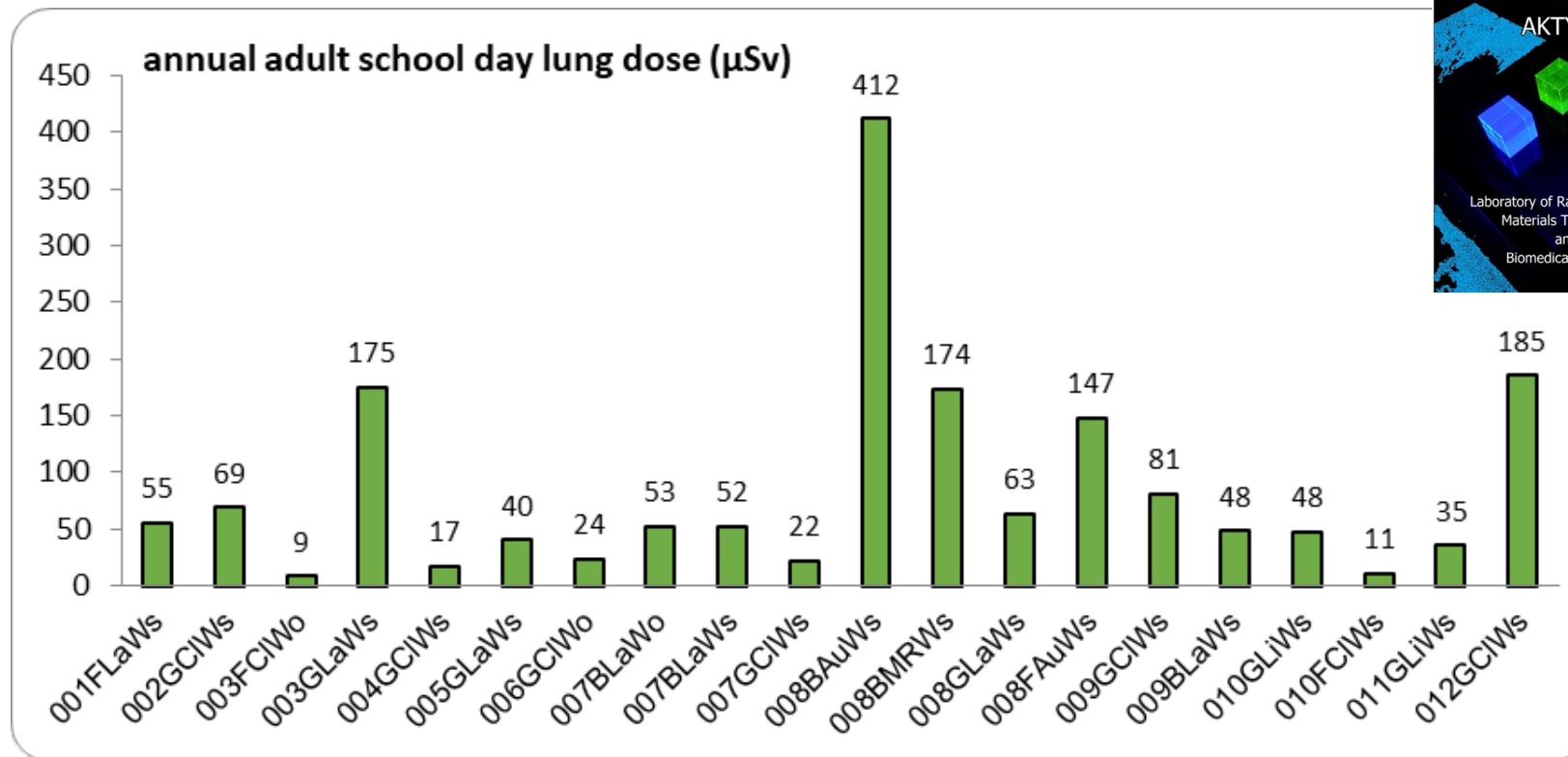


**Σχήμα 3.** Συχνότητα υπέρβασης τιμών αναφοράς στο 24ωρο και κατά τις σχολικές ώρες (pptd. frequencies).

### 3. Αποτελέσματα



1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικών Επιστημών στην Υγεία:  
Καινοτομίες και Προοπτικές  
22-23 Σεπτεμβρίου 2023



**Σχήμα 4.** Ετήσια (υπολογιζόμενη) δόση στον πνεύμονα για ενήλικες, λόγω της παραμονής στην αίθουσα.

## 4. Συμπεράσματα



1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικών Επιστημών στην Υγεία:  
Καινοτομίες και Προοπτικές  
22-23 Σεπτεμβρίου 2023

### ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

- ❖ Λίγες αίθουσες υπερβαίνουν την τιμή αναφοράς της ΕΕ ( $300 \text{ Bq/m}^3$ ).
- ❖ Αρκετές είναι κοντά στην τιμή αναφοράς των ΗΠΑ ( $148 \text{ Bq/m}^3$ ).
- ❖ Οι τιμές χαμηλώνουν αισθητά όταν εφαρμοστεί εξαερισμός.
- ❖ Μικρή απόκλιση συγκέντρωσης κατά τις σχολικές ώρες ως προς τη συγκέντρωση 24ώρου.
- ❖ Μικρή απόκλιση από τις ετήσιες τιμές του Εθνικού Χάρτη Ραδονίου της Ελλάδας εκτός από τα περισσότερα νησιωτικά σχολεία, όπου η απόκλιση είναι σταθερά μεγάλη.



### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

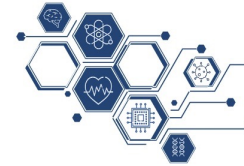
- ❖ Το χειμώνα αυξάνεται η συγκέντρωση Ραδονίου, άρα η ετήσια δόση ίσως είναι υψηλότερη.
- ❖ Η συνολική ετήσια δόση (μαζί με άλλες πηγές εκτός σχολείου) μπορεί να υπερβαίνει το όριο των  $1000 \mu\text{Sv}$  σε ανθρώπους που βρίσκονται σε ορισμένες αίθουσες. Η παραμονή σε αυτές συμβάλλει ιδιαίτερα στην αύξηση της δόσης.

### ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

- ❖ Προτείνεται επικαιροποίηση του Εθνικού Χάρτη Ραδονίου στα νησιά.
- ❖ Συνιστάται εξαερισμός και το χειμώνα στις ισόγειες και υπόγειες αίθουσες.
- ❖ **Ενδιαφέρον για επιδημιολογική μελέτη σε συνδυασμό με μετρήσεις ραδονίου στα σχολεία.**



## 5. Ενδεικτική Βιβλιογραφία



1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικών Επιστημών στην Υγεία:  
Καινοτομίες και Προοπτικές  
22-23 Σεπτεμβρίου 2023

1. Kelly, F.J.; Fussell, J.C. Improving Indoor Air Quality, Health and Performance within Environments Where People Live, Travel, Learn and Work. *Atmos. Environ.* 2019, 200, 90–109, doi:10.1016/j.atmosenv.2018.11.058.
2. Kakoulli, C.; Kyriacou, A.; Michaelides, M.P. A Review of Field Measurement Studies on Thermal Comfort, Indoor Air Quality and Virus Risk. *Atmosphere* 2022, 13, doi:10.3390/atmos13020191.
3. World Health Organization WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective; World Health Organization, 2009; ISBN ISBN 978 92 4 154767 3.
4. Appleton, J.D. Radon in Air and Water. In *Essentials of medical geology: Revised edition*; Selinus, O., Ed.; Springer Netherlands: Dordrecht, 2013; pp. 239–277 ISBN 978-94-007-4375-5.
5. Riudavets, M.; Garcia de Herreros, M.; Besse, B.; Mezquita, L. Radon and Lung Cancer: Current Trends and Future Perspectives. *Cancers* 2022, 14, 3142, doi:10.3390/cancers14133142.
6. Nunes, L.J.R.; Curado, A.; Da Graça, L.C.C.; Soares, S.; Lopes, S.I. Impacts of Indoor Radon on Health: A Comprehensive Review on Causes, Assessment and Remediation Strategies. 2022, doi:10.3390/ijerph19073929.
7. Kendall, G.M.; Smith, T.J. Doses from Radon and Its Decay Products to Children. *J. Radiol. Prot.* 2005, 25, 241, doi:10.1088/0952-4746/25/3/002.

