



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
UNIVERSITY OF WEST ATTICA

## Ετήσια έκθεση προόδου PhD

Ευάγγελος Μπάτρης (Δ.Μ.Β.2102), Οκτώβριος 2022

Τίτλος: Βιοσυμβατές καινοτόμες τεχνολογίες για τη μείωση των δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία λόγω του ραδονίου και των θυγατρικών του σε εσωτερικούς χώρους (αρ. απόφασης 22/29-11-2021 )

Επιβλέπων Καθηγητής: Ιωάννης Βαλαής

Συμβουλευτική Επιτροπή: Ιωάννης Βαλαής, Κωνσταντίνος Μουστράς, Δημήτριος Νικολόπουλος

### Αρχικοί ερευνητικοί στόχοι

1. Ανασκόπηση των συγχρόνων μεθόδων καταπολέμησης του ραδονίου και των θυγατρικών του και των ευρέως γνωστών μοντέλων αλληλεπίδρασης εσωτερικού αέρα – ραδονίου.
2. Ανασκόπηση εναλλακτικών, βιοσυμβατών υλικών και χημικών συνθέσεων που αναμένεται να δεσμεύουν ή να απορροφούν το ραδόνιο και τα θυγατρικά του σε σημαντικό βαθμό.
3. Παραγωγή νέου μοντέλου ή εξέλιξη ή χρήση κατάλληλων υφιστάμενων μοντέλων, για την πρόβλεψη της απορρόφησης ραδονίου και θυγατρικών από τέτοια υλικά.
4. Δημιουργία δεσμών μεταξύ της έρευνας και ευρύτερων ακαδημαϊκών ή κοινοτικών προγραμμάτων για τη μείωση των δυσμενών επιπτώσεων του ραδονίου και άλλων καρκινογόνων ουσιών στην υγεία. Επίσης, θα ήταν επιθυμητή η σύνδεση με μεγαλύτερα μοντέλα ποιότητας του αέρα, υγείας και ασφάλειας, ή ακόμη και τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην ανθρώπινη άνεση και εργασία.

### Περιγραφή προόδου για το έτος 2022

Πραγματοποιήθηκε διερεύνηση της διεθνούς βιβλιογραφίας σχετικά με τις ιδιότητες του ραδονίου και των θυγατρικών του, καθώς και του ισοτόπου του, του θορονίου, τα οποία καθορίζουν την έκθεση των ανθρώπων σε φυσικής προέλευσης ραδιενέργεια στους εσωτερικούς χώρους [Clouvas 2011, Raquet 2017, Appleton 2013, WHO 2009, Hosoda 2017]. Μελετήθηκαν οι κύριες πηγές του ραδονίου [Appleton 2013, Nunes 2022, Nazaroff 1992, Nayak 2022] και οι ιδιαίτερες ιδιότητες του θορονίου που το καθιστούν σημαντικό κατά την εκτίμηση του κινδύνου από την έκθεση σε ραδόνιο και θυγατρικά σε εσωτερικούς χώρους [Tokonami 2010, Tokonami 2020, Hosoda 2017, Bineng 2020, Steinhäusler 1994]. Η έκθεση αυτή προκαλεί καρκίνο του πνεύμονα [Lee 1999, WHO 2009, Field 2019, Nunes 2022, Sethi 2012, Riudavets 2022], αλλά πρόσφατες έρευνες δείχνουν ότι μπορεί να συνδέεται και με άλλες σοβαρές ασθένειες [Nayak 2022, Auvinen 2005, Palmer 2022, Zoran 2022]. Ο κίνδυνος από το ραδόνιο/θορόνιο έχει να κάνει κυρίως με τα θυγατρικά τους, διότι αυτά παραμένουν στο ανθρώπινο σώμα. Η επιβλαβής δράση τους ορίζεται

κυρίως από τη μορφή και το μέγεθος που λαμβάνουν τα προϊόντα των διασπάσεων [Nayak 2022, Hinrichs 2022, WHO 2009, Appleton 2013].

Οι κύριες πρακτικές καταπολέμησης των κινδύνων από ραδόνιο στους εσωτερικούς χώρους είναι κυρίως ο εξαερισμός και η μόνωση [Appleton 2013, WHO 2009, ΕΕΑΕ 2020]. Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις εσωτερικών χώρων που αυτές οι μέθοδοι δεν είναι εφαρμόσιμες ή επαρκείς (σπήλαια, ορυχεία, SPA κλπ) [ΕΕΑΕ 2020] ή δεν εφαρμόζονται όπως θα έπρεπε [Kalimeri 2016]. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ενδέχεται να είναι χρήσιμη ή απαραίτητη η χρήση προστατευτικού αναπνευστικού εξοπλισμού (RPE) όπως οι μάσκες. Οι απλές μάσκες που χρησιμοποιήθηκαν κατά την πανδημία COVID-19 έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικές στην παρεμπόδιση των θυγατρικών του ραδονίου από την εισδοχή τους στον πνεύμονα [Hinrichs 2022]. Παρομοίως έχουν φανεί αποτελεσματικά μηχανήματα καθαρισμού του αέρα και φίλτρα [Wang 2011, Wang 2022]. Ωστόσο, παραμένει σημαντικό να γνωρίζουμε πότε πρέπει να χρησιμοποιούνται αυτά τα κατά περίπτωση μέτρα και αυτό προϋποθέτει παρακολούθηση της συγκέντρωσης του ραδονίου [Sa 2022] με σειρά μεθόδων και οργάνων, παθητικών (ενδεικτικά [Bing 1993, Perez 2020]) και ενεργών (ενδεικτικά [Hinrichs 2022, Sa 2022]).

Επειδή η συνεχής παρακολούθηση της συγκέντρωσης ραδονίου δεν είναι πάντα εύκολη, αναπτύσσονται στρατηγικές για την εκτίμηση του κινδύνου από το ραδόνιο βάσει δεικτών (ενδεικτικά [Mancini 2021, Lopes 2021, Petermann 2021]), των συντελεστών ισορροπίας του ραδονίου και των αντίστοιχων συντελεστών ισοδύναμης δόσης [Chen 2018]. Πλήθος ερευνών δείχνει ότι για την ορθή εκτίμηση των δεικτών αυτών πρέπει να ληφθεί υπόψη η ημερήσια, εποχιακή και χωρική διακύμανση της συγκέντρωσης του ραδονίου (ενδεικτικά [Madas 2022, Seftelis 2007]) και μάλιστα η διακύμανση εντός των κτηρίων (ενδεικτικά [Kubiak 2022, Clouvas 2011]).

Σε πολλές χώρες έχουν πραγματοποιηθεί μεγάλες έρευνες για τη συγκέντρωση του ραδονίου [UNsCEAR 2000]. Στη χώρα μας έχουν γίνει σχετικές έρευνες (ενδεικτικά [Nikolopoulos 2002, Geranios 2004, Clouvas 2007 & 2011]) και βρίσκεται σε εξέλιξη το εθνικό σχέδιο δράσης για την αντιμετώπιση των μακροπρόθεσμων κινδύνων από την έκθεση στο ραδόνιο (ΕΣΧΕΔΡΑ) [ΦΕΚ 1881/18-5-2020], στο πλαίσιο του οποίου χαρτογραφείται η συγκέντρωση ραδονίου στη χώρα με παθητικές μεθόδους. Η παρούσα έρευνα μπορεί να συμβάλει στη λεπτομερέστερη και αποτελεσματικότερη καταγραφή των διακυμάνσεων του ραδονίου εντός των κτηρίων, που αναμένονται να είναι σημαντικές [Clouvas 2011, Nikolopoulos 2014], πραγματοποιώντας σειρά μετρήσεων τόσο με παθητικά όσο και με ενεργητικά όργανα μέτρησης [SARAD RTM 1688-2, Hinrichs 2022].

Με βάση το παραπάνω πλαίσιο, θα αναπτυχθεί συνεργασία με ένα δίκτυο σχολείων για την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα και του ραδονίου, σε συνεργασία και με την ΕΕΑΕ. Παράλληλα θα αναπτυχθεί συνεργασία με το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας (επίδραση της ατμόσφαιρας των εξωτερικών και εσωτερικών χώρων στη φυσιολογία του ανθρώπου) στην προοπτική επέκτασης της έρευνας και ανάπτυξης συνεργειών για τη διαμόρφωση νέων ερευνητικών προγραμμάτων στο γενικό πλαίσιο της έρευνας για τα καρκινογόνα και την ποιότητα του αέρα στους εσωτερικούς χώρους.

Κατά την παρούσα περίοδο διερευνάται σε μεγαλύτερο βάθος η βιβλιογραφία σε σχέση με την χωρική και χρονική διακύμανση του ραδονίου στους εσωτερικούς χώρους, καθώς και τη συσχέτισή τους με την ισοδύναμη δόση και τα σχετικά μοντέλα εκτίμησης του κινδύνου από το ραδόνιο στους εσωτερικούς χώρους. Βάσει αυτής της ανασκόπησης θα σχεδιαστεί με ακρίβεια το πρόγραμμα μετρήσεων που θα λάβει χώρα στο αναπτυσσόμενο δίκτυο εσωτερικών χώρων που θα συνδεθούν με το πρόγραμμα, με τη χρήση κατάλληλων οργάνων μέτρησης του Πα.Δ.Α.

Επί του παρόντος διερευνάται η δυνατότητα συνεργασίας διενέργειας μετρήσεων ραδονίου στο δίκτυο σχολείων που αναπτύσσεται, στο πλαίσιο του ΕΣΧΕΔΡΑ.

## Βιβλιογραφία

1. Appleton, J. Donald. "Radon in air and water." *Essentials of medical geology*. Springer, Dordrecht, 2013. 239-277.
2. Auvinen, Anssi, et al. "Radon and other natural radionuclides in drinking water and risk of stomach cancer: A case-cohort study in Finland." *International Journal of Cancer* 114.1 (2005): 109-113.
3. Bineng, Guillaume Samuel, et al. "The importance of direct progeny measurements for correct estimation of effective dose due to radon and thoron." *Frontiers in Public Health* 8 (2020): 17.
4. Bing, Shang. "CR-39 radon detector." *Nuclear Tracks and Radiation Measurements* 22.1-4 (1993): 451-454.
5. Chen, Jing, and Naomi H. Harley. "A review of indoor and outdoor radon equilibrium factors—Part I:  $^{222}\text{Rn}$ ." *Health physics* 115.4 (2018): 490-499.
6. Clouvas, A., S. Xanthos, and G. Takoudis. "Indoor radon levels in Greek schools." *Journal of environmental radioactivity* 102.9 (2011): 881-885.
7. Field, R. W. "Radon: an overview of health effects." *Encyclopedia of environmental health* (2019): 467-475.
8. Geranios, Athanasios, et al. "Multiple radon survey in spa of Loutra Edipsou (Greece)." *Radiation protection dosimetry* 112.2 (2004): 251-258.
9. Hinrichs, Annika, et al. "Radon Progeny Adsorption on Facial Masks." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19.18 (2022): 11337.
10. Hosoda, Masahiro, et al. "Characteristic of thoron ( $^{220}\text{Rn}$ ) in environment." *Applied Radiation and Isotopes* 120 (2017): 7-10.
11. Kalimeri, Krystallia K., et al. "Indoor air quality investigation of the school environment and estimated health risks: Two-season measurements in primary schools in Kozani, Greece." *Atmospheric Pollution Research* 7.6 (2016): 1128-1142.
12. Kubiak, Joanna Aleksandra, and Małgorzata Basińska. "Analysis of the Radon Concentration in Selected Rooms of Buildings in Poznan County." *Atmosphere* 13.10 (2022): 1664.
13. Lee, Michael E., et al. "Radon-smoking synergy: a population-based behavioral risk reduction approach." *Preventive medicine* 29.3 (1999): 222-227.
14. Lopes, Sérgio Ivan, Leonel JR Nunes, and António Curado. "Designing an Indoor Radon Risk Exposure Indicator (IRREI): An Evaluation Tool for Risk Management and Communication in the IoT Age." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18.15 (2021): 7907.
15. Madas, Balázs G., et al. "Effects of spatial variation in dose delivery: what can we learn from radon-related lung cancer studies?." *Radiation and Environmental Biophysics* (2022): 1-17.
16. Mancini, Simona, Martins Vilnitis, and Michele Guida. "A Novel Strategy for the Assessment of Radon Risk Based on Indicators." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18.15 (2021): 8089.
17. Nayak, Tilak, et al. "A systematic review on groundwater radon distribution with human health consequences and probable mitigation strategy." *Journal of Environmental Radioactivity* 247 (2022): 106852.
18. Nazaroff, William W. "Radon transport from soil to air." *Reviews of geophysics* 30.2 (1992): 137-160.

19. Nikolopoulos, D., et al. "Factors affecting indoor radon concentrations of Greek dwellings through multivariate statistics-first approach." *J Phys Chem Biophys* 4.145 (2014): 2161-0398.
20. Nikolopoulos, Dimitrios, et al. "Radon survey in Greece—risk assesment." *Journal of environmental radioactivity* 63.2 (2002): 173-186.
21. Nunes, Leonel JR, et al. "Impacts of Indoor Radon on Health: A Comprehensive Review on Causes, Assessment and Remediation Strategies." *\_International Journal of Environmental Research and Public Health\_* 19.7 (2022): 3929.
22. Palmer, Joshua D., et al. "Exposure to radon and heavy particulate pollution and incidence of brain tumors." *\_Neuro-oncology\_* (2022): noac163-noac163.
23. Paquet, F., et al. "ICRP publication 137: occupational intakes of radionuclides: part 3." *\_Annals of the ICRP\_* 46.3-4 (2017): 1-486.
24. Pérez, B., M. E. López, and D. Palacios. "Theoretical and experimental study of the LR-115 detector response in a non-commercial radon monitor." *\_Applied Radiation and Isotopes\_* 160 (2020): 109112.
25. Petermann, Eric, and Peter Bossew. "Mapping indoor radon hazard in Germany: The geogenic component." *\_Science of the Total Environment\_* 780 (2021): 146601.
26. Riudavets, Mariona, et al. "Radon and lung cancer: current trends and future perspectives." *\_Cancers\_* 14.13 (2022): 3142.
27. Sá, Juliana P., et al. "Radon in Indoor Air: Towards Continuous Monitoring." *\_Sustainability\_* 14.3 (2022): 1529.
28. SARAD RTM 1688-2 ([https://www.sarad.de/product-detail.php?lang=en\\_US&cat\\_ID=&p\\_ID=20](https://www.sarad.de/product-detail.php?lang=en_US&cat_ID=&p_ID=20))
29. Seftelis, I., et al. "Diurnal variation of radon progeny." *\_Journal of environmental radioactivity\_* 97.2-3 (2007): 116-123.
30. Sethi, Tarsheen K., Moataz N. El-Ghamry, and Goetz H. Kloecker. "Radon and lung cancer." *\_Clin Adv Hematol Oncol\_* 10.3 (2012): 157-164.
31. Steinhäusler, Friedrich, Werner Hofmann, and Herbert Lettner. "Thoron exposure of man: a negligible issue?." *Radiation Protection Dosimetry* 56.1-4 (1994): 127-131.
32. Tokonami, Shinji. "Characteristics of thoron (<sup>220</sup>Rn) and its progeny in the indoor environment." *\_International Journal of Environmental Research and Public Health\_* 17.23 (2020): 8769.
33. Tokonami, Shinji. "Why is <sup>220</sup>Rn (thoron) measurement important?." *\_Radiation protection dosimetry\_* 141.4 (2010): 335-339.
34. UNSCEAR 2000 Sources and Effects of Ionising Radiation. Report to General Assembly, with Scientific Annexes\*\*
35. Wang, Chenhua, et al. "Numerical analysis for the optimization of multi-parameters stratum ventilation and the effect on radon dispersion." *\_Journal of Building Engineering\_* (2022): 105375.
36. Wang, Jin, et al. "Mitigation of radon and thoron decay products by filtration." *\_Science of the total environment\_* 409.19 (2011): 3613-3619.
37. World Health Organization. *\_WHO handbook on indoor radon: a public health perspective\_*. World Health Organization, 2009.

38. Zoran, Maria A., et al. "Impacts of exposure to air pollution, radon and climate drivers on the COVID-19 pandemic in Bucharest, Romania: A time series study." \_Environmental Research\_ (2022): 113437.
39. ΕΕΑΕ, ΚΑ-ΕΕΑΕ-ΚΟ-072020-01: Κατευθυντήριες οδηγίες για έκθεση εργαζομένων στο ραδόνιο (2020)
40. ΦΕΚ 1881 Β 18/05/2020: Εθνικό σχέδιο δράσης για την αντιμετώπιση των μακροπρόθεσμων κινδύνων από την έκθεση στο ραδόνιο.

## ΤΑ ΜΕΛΗ ΤΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

Ιωάννης Βαλαής

**Ioannis  
Valais**

Digitally signed  
by Ioannis Valais  
Date: 2022.11.09  
10:52:28 +02'00'

Κωνσταντίνος Μουστρής



Digitally signed  
by  
Konstantinos  
Moustris  
Date:  
2022.11.09  
09:46:11  
+02'00'

Δημήτριος Νικολόπουλος

**Dimitrio  
s  
Nikolop  
oulos**

Digitally signed  
by Dimitrios  
Nikolopoulos  
Date:  
2022.11.08  
21:09:12  
+02'00'