



UNIVERSITATEA BABEȘ-BOLYAI
Facultatea de Știința și Ingineria Mediului
Școala doctorală Știința Mediului



TEZĂ DE DOCTORAT

**IMPLICAȚIILE RISCULUI DE RADON ÎN PROIECTAREA,
CONSTRUCȚIA ȘI ARHITECTURA CLĂDIRILOR
INTELIGENTE**

REZUMAT

Doctorand Giagias Evangelos

Conducător științific:

Prof. Univ. Dr. DUMITRU RISTOIU

Coordonator:

Prof. Univ. Dr. CONSTANTIN COSMA

CLUJ-NAPOCA
2024

CUPRINS

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUCERE | 3 |
| 2 | SCOPUL CERCETĂRILOR | 3 |
| 3 | STRUCTURA TEZEI | 4 |
| 3.1 | Capitolul I. | 4 |
| 3.2 | Capitolul II. | 5 |
| 3.3 | Capitolul III. | 7 |
| | Metodele de măsurare a radonului, emanațiilor de radon din sol, radiației naturale de fond și, radiației emise de materialele de construcție | 7 |
| 3.3.1 | Radonul de interior | 7 |
| 3.3.2 | Activitățile radionuclizilor naturali din Materialele de construcții. | 9 |
| 3.4 | Capitolul IV. | 10 |
| 3.5 | Capitolul V | 14 |
| 3.6 | Capitolul VI | 17 |
| 4 | STUDIUL RADONULUI DE INTERIOR DIN LOCUINȚE REZIDENȚIALE DIN ZONA METROPOLITANĂ ATENA ȘI ARGOLIDA (PELOPONEZ) | 20 |
| 4.1 | Cadru geodinamic al zonei de studiu | 23 |
| 4.2 | Trecerea în revistă a geologiei și geotectonicii ZMA și Argolida | 26 |
| 4.3 | Metodologia de analiză și prelucrare statistică a datelor | 29 |
| 5 | RADIOACTIVITATEA MATERIALELOR DE CONSTRUCȚII UTILIZATE FRECVENT ÎN GRECIA | 32 |
| 5.1 | Măsurarea concentrației activității radionuclizilor. | 33 |
| 5.2 | <i>Parametrii radiologici pentru materialele studiate</i> | 36 |
| 5.3 | Concluzii. | 39 |

Cuvinte cheie: Radonul de interior, riscul de radon, radionuclizi naturali în materialele de construcție, schimbări climatice, clădiri inteligente, Grecia

1 INTRODUCERE

Obiectivele prezentului studiului sunt;

- a) Monitorizarea Radonului de interior a 25 de locuințe reprezentative pentru Zona Metropolitană Atena (ZMA) și regiunea Argolida, orașul Epidavros (AR), folosind detectoarele de urme tip CR39, expuse timp de trei luni în trei anotimpuri, Primăvară, Vară și Iarnă.
- b) Analiza radioactivităților radionuclizilor primordiali U 238, Ra 226, Th 232 și K 40 din 18 probe de materiale de construcții folosite frecvent în Grecia și estimarea riscului la radon pentru oameni,
- c) Analiza riscului la radon datorat acumulării acestuia în interiorul clădirilor, a contribuției radioactivității datorate radionuclizilor prezenți în materialele de construcție,
- d) Strategia pe care trebuie să o adopte Arhitecții și Constructorii în fața creșterii acumulărilor de radon din interiorul clădirilor datorită eficientizării energetice și a reabilitării termice a acestora luând în considerare alterarea climei prin factori de natură umană.

2 SCOPUL CERCETĂRILOR

- ✓ determinarea și urmărirea variației concentrațiilor de radon de interior din 25 locuințe situate în Zona Metropolitană Atena și Regiunea Argolida, orașul Epidavros, pe parcursul a trei anotimpuri și a contribuției lor la doză,
- ✓ găsirea unei ipoteze plauzibile pentru valorile mari și foarte mari pentru locuințe situate în vecinătate în completarea celei emise la prima analiză a acestor rezultate (Giagias 2015).

- ✓ Cercetarea literaturii de specialitate cu privire la structura geologică a zonelor studiate și posibilelor legături cu emanațiile de radon,
- ✓ determinarea concentrațiilor de activitate ale K 40, Ra 226, Th 232 și U 238 din 18 probe de materiale de construcții utilizate frecvent în Grecia și contribuția lor la debitul dozei. Cunoașterea radioactivității prezente în materialele de construcție permite evaluarea oricărui pericol radiologic posibil pentru locuitorii unei case în funcție de diversitatea materialele folosite pentru construcția clădirilor. Rezultatele obținute pot servi drept date de bază pentru nivelul de radioactivitate în această arie studiată.
- ✓ Scoaterea în evidență a responsabilității arhitecților și constructorilor privind protecția locatarilor de acumulările de radon în spații închise fără aerisire adecvată,
- ✓ importanța cunoașterii; i). concentrațiilor de radon din case, ii) contribuția radiațiilor emise de materialele de construcții din care sunt făcute casele, iii) contribuția radiațiilor naturale γ la doza anuală totală și măsurile pe care trebuie să le întreprindă pentru a micșora efectele nocive ale acestor radiații anterior începerii proiectului/respectiv construcției oricărui imobil, indiferent de destinație, în conformitate cu reglementările naționale și internaționale.

3 STRUCTURA TEZEI

Teza este structurată pe 8 Capitle (inclusiv Concluziile și Bibliografia). Mai conține o Anexă și Lista publicațiilor.

3.1 Capitolul I.

Este dedicat celor care în urmă cu peste un secol au pus bazele unei noi ramuri a fizicii, fizica nucleară, Wilhelm Conrad Röntgen, Henri Becquerel, Marie Skłodowska-Curie, Pierre Curie, Ernest Rutherford, Frederick Soddy, etc.. Soddy, beneficiind atât de niște mentori de excepție cât și de cunoștințele acumulate într-o perioadă relativ scurtă în această ramură a fizicii, a prezis atât avantajele acestor descoperiri cum ar fi;

- i) dezvoltarea tehnicilor moderne de datare radioactivă,
- ii) ii) că energia nucleară ar putea într-o zi să furnizeze energie abundentă, ieftină și curată, punând capăt pentru totdeauna poluării și sărăciei,
- iii) iii) a avertizat, de asemenea, că eliberarea sa necontrolată ar putea produce o distrugere teribilă,
- iv) iv) convingerea lui că războiul nuclear ar fi cu totul dezastruos pentru umanitate a devenit parte a înțelepciunii convenționale a timpului nostru.

Unul dintre ultimele sale acte publice a fost să se alăture altor 17 câștigători ai premiului Nobel pentru a semna un apel adresat liderilor lumii să renunțe la armele nucleare (Merricks 1996).

Tot în Capitolul I se face o analiză succintă a proprietățile radonului, sursele radonului din sol și scoarța terestră, generarea radonului în sol și în roci, respectiv prezența radonului în diferiți factori de mediu: aer, interiorul locuințelor, apă și subteran.

3.2 Capitolul II.

Aduce în actualitate responsabilitatea Arhitecților și al Constructorilor din punct de vedere al proiectării și construirii de noi imobile care să respecte reglementările naționale și internaționale privind limitele maxime acceptate pentru factorii de risc radiologic generați de acumularea radonului de interior în spațiile închise, în contextul încălzirii globale, a schimbărilor climate și a eficientizării energetice a clădirilor. pentru toate imobilele noi dar și a soluțiilor de remediere a imobilelor deja construite care prezintă concentrații ale radonului de interior peste limita de atenționare.

Schimbările climatice și încălzirea globală a planetei noastre constituie unul dintre cele mai dezbătute subiecte din științele pământului, atmosferei și spațiului din ultimii 30 de ani. În 1975 Broecker a lansat ideea încălzirii globale care a fost acceptată de marea parte a oamenilor de știință, (Broecker 1975). Unii dintre aceștia cred că schimbările climatice sunt cauzate în principal de activitatea umană și de creșterea emisiilor de gaze cu efect de seră – în special CO₂. Alții susțin că clima Pământului depinde de influența factorilor naturali astronomici, fizici și geodinamici, printre care se remarcă impactul complex al soarelui asupra climei, precum și impactul schimbărilor orbitale ale Pământului.

Factorii astronomici și orbitali sunt cruciali pentru clima Pământului. Schimbările climatice globale se pot datora indirect rezonanțelor gravitaționale generate de planetele mari din sistemul solar și Soare, sau la trecerea sistemului solar prin cele cinci brațe ale Galaxiei Calea lactee. Acești factori sunt, de asemenea, legați de luminozitatea Soarelui; poziția Pământului în sistemul solar; rotația Pământului în jurul axei sale și în jurul Soarelui; rotația Sistemului solar în jurul centrului galactic; interacțiunea dintre sistemele Pământ-Soare și Pământ-Lună; interacțiunea cu alte corpuri din sistemul solar și particularitățile în mișcarea orbitală a Pământului.

În principiu se pledează pentru un studiu mai aprofundat al cauzelor încălzirii globale și a repercusiunilor acestui fenomen în viața de zi cu zi punându-se accent mai

In mod cert tendința încălzirii globale determinată de factorii naturali este combinată cu impactul gazelor cu efect de seră – în special CO₂- iar rolul omului este crucial în acest fenomen. Categorie, razele cosmice galactice de asemenea au un impact. De aceea Comisia interguvernamentală pentru schimbările climatice (IPCC) atunci când face diverse simulări privind evoluția climei pentru viitorul apropiat trebuie să acorde o mai mare importanță factorilor naturali. Variațiile temperaturii de la suprafața Pământului sunt mult mai multipli decât efectele gazelor cu efect de seră. Respectarea foii de parcurs stabilită prin Acordul de la Paris este puțin probabil să fie respectată fără repercusiuni grave asupra factorului uman.

De aceea **"trebuie ascultate ambele părți !"** (Lutgens, 1992; IPCC, 2001).

degrabă pe adaptarea la schimbările climatice decât implementarea unor măsuri imposibil de realizat în termenele propuse și insuficient dovedite de IPCC și susținătorii acestora cu ignorarea totală, sau acceptarea tacită, a sugestiilor zecilor de mii de cercetători care solicită acest lucru.

Sunt prezentate pe larg opiniile ambelor părți dar și problema reală care se pune din punct de vedere a Radonului. Toate repercusiunile efectelor negative ale încălzii globale se regăsesc în expunerea suplimentară a populației globului la radiațiile ionizante dar mai alea a creșterii nivelului radonului de interior ca urmare a politicilor de eficientizare energetică a tuturor locuințelor și spațiilor publice până la " Zero-Energy

De aceea este absolut necesar "Să fie ascultată și cealaltă parte" ("Audiatur et altera pars" Seneca, cca. 4 îH - 65 dH), valabilă atât de mult în justiție dar și în știință.

Building (ZEB)” care presupune schimbări majore în modul de abordare a acestui deziderat de Arhitecți și Constructori.

3.3 Capitolul III.

Metodele de măsurare a radonului, emanațiilor de radon din sol, radiației naturale de fond și, radiației emise de materialele de construcție

3.3.1 Radonul de interior

S-a considerat că o descriere a tuturor metodelor și tehnicilor de măsurare a Radonului și radioactivității unor radionuclizi, prezenți în materialele de construcții, implicați în afectarea sănătății umane, ar ocupa un spațiu prea mare și chiar ar fi inutilă. De aceea După enumerarea pe scurt a istoricul evoluției metodelor de detectare și tehnicilor de măsurare a radiațiilor ionizante care au fost perfecționate și care în prezent sunt folosite pe scară largă se trece la descrierea metodelor folosite în prezentul studiu. Rezultatele ”brute” și zonele de proveniență sunt prezentate pentru fiecare metodă, rezervând capitole separate pentru Analiza, Interpretarea datelor și Discuții pe aceste teme. Acestea sunt:

- metoda pentru măsurători instantanee de radon pe baza celulei de scintilație. Primul care a dezvoltat și impus această tehnică a fost H.F. Lucas. Celula are depus pe pereții interiori materialul scintilator ZnS(Ag) (Lucas, 1957). O particulă alfa care se produce în urma dezintegrării radonului în interiorul celulei lovește materialul scintilator, generând un foton de lumină. Acest foton va sesizat și numărat de un tub fotomultiplicator, care este cuplat optic cu fereastra din cuarț a celulei. Fotomultiplicatorul va converti scintilația produsă în impuls electric. Eficiența de detecție a celulei lui Lucas a este de 75-80 %, și prezintă un fond de numai 0,1 imp/min. Astfel, eroarea de măsurare a unei probe cu concentrația de $10 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ din probă și de fond cu un numărător de impulsuri pe parcursul a trei ore este $\sim 30\%$ (Lucas, 1957). Măsurătorile pe probe de aer se fac, de regulă, după atingerea echilibrului radioactiv între radon și descendenți săi (^{218}Po și ^{214}Po). Cantitatea de radon din celulă este direct proporțională cu numărul de dezintegrări observate peste limita de detecție a fondului.

- Metoda bazată pe detectoare de urme nucleare în stare solidă (SSNDs). Această tehnică este utilizată pe scară largă în studiile privind măsurătorile de radon interior (Cucoș, et.al., 2012; Papp, et.al., 2012; Kinga 2015). Fiecare particulă α detectabilă produce într-un SSNTD o singură urmă de deteriorare, care, după dezvoltarea chimică, se transformă într-un canal îngust care este vizibilă la microscop. În cea mai mare parte, aceste SSNTD sunt esteri de celuloză (nitrat și acetat) și policarbonați precum bis-fenol-a policarbonat și CR-39. Pentru citirea detectorilor de urme CR-39 se folosește un sistem integrat de tipul **RadoSys 2000** (*producător RadoSys, Budapesta, Ungaria*), alcătuit din următoarele componente: Unitate de dezvoltare RadoBath, Microscop optic RadoMeter și Laptop cu software adecvat pentru citirea urmelor și prelucrarea statistică

Pentru a măsura concentrațiile de gaz radon în locuințele din Grecia, a fost întreprinsă o evaluare pe termen lung a concentrațiilor domestice de radon, utilizând detectoare nucleare în stare solidă (CR-39).

În acest studiu un număr de 25 de locuințe reprezentative pentru Zona Metropolitană Atena și regiunea Agolida, orașul Epidavros, au fost monitorizate folosind detectoarele de urme tip CR39, furnizate de compania maghiară, RadoSys Ltd, expuse timp de trei luni în trei anotimpuri, Primăvară, Vară și Iarnă (Giagias et.al., 2015a, 2015b). La finalul perioadei de expunere din locuințe, detectoarele au fost colectate, ambalate corect într-un plic cu filtru anti-radon, și transportate în siguranță pentru prelucrare și analiză la Centrul de Radioactivitatea Mediului și Date Nucleare de la Universitatea Babeș-Bolyai, Cluj-Napoca, România. În Laborator, detectorii se extrag din cutia (Radapot) în care au fost expuși și se introduc în suporturile din plastic (slide-uri) special construite în vederea dezvoltării și se determină concentrațiile de radon prin citirea urmelor lăsate pe detector.

Sunt prezentate, de asemenea, locurile unde au fost instalați detectorii și rezultatele prelucrării primare a datelor. În Zona Metropolitană Atena au fost montați 23 de detectori după cum urmează: ATENA SUD; 12 detectori CR39 (pentru sezonul iarnă 2 detectorii au fost pierduți), PIRAEUS; 6 detectori, ATENA NORD; 2 detectori, ATENA EST; 3 detectori (pentru perioada de iarnă toți cei trei detectori au fost pierduți)

și în PELOPONEZ, regiune ARGOLIDA localitatea EPIDAVROS au fost montați 2 detectori.

3.3.2 Activitățile radionuclizilor naturali din Materialele de construcții.

- Pentru măsurarea activităților radionuclizilor ^{238}U , ^{232}U , ^{226}Ra și ^{40}K este folosită tehnica spectrometriei gamma. Conform cronologiei standardelor de siguranță de bază ale Uniunii Europene—EU BSS—(Consiliul Uniunii Europene 2014), toți membrii UE ar trebui să aplice aceste cerințe până în 2018. Reducerea concentrației de radon la sub nivelul recomandat poate fi o nouă provocare pentru materialele de construcții folosite pentru locuințe, spații publice dar și pentru zone de lucru, cum ar fi minele subterane sau peșterile. Una din metodele cele mai precise și de largă utilizare este Spectrometria gamma (Cosma, et.al., 2012).

Un spectrometru de radiații gamma de înaltă rezoluție, echipat cu un detector de radiații semiconductor ORTEC GMX 40–76 HPGe cu o eficiență relativă de 40%, a fost utilizat pentru evaluarea tuturor materialelor care emit gamma, atât calitativ, cât și cantitativ prin detectarea amplitudinii și nivelului de energie al fotonilor gamma emiși de la izotopi și, prin urmare, determinând concentrația de activitate specifică a radionuclizilor ^{232}Th , ^{228}Ra , ^{226}Ra și ^{40}K din probele de rocă. În scopul asigurării calității (QA) în protocolul analitic, se recomandă a fi utilizat un standard de sol certificat. Pentru conformitate a fost folosit standardul 312 furnizat de Agenția Internațională pentru Energie Atomică (IAEA (2007) cu o concentrație de activitate cunoscută pentru radionuclizii studiați.

Detectorul a fost acoperit cu un scut de plumb de 20 cm grosime și un strat de nichel de jur împrejur pentru a reduce debitul de fundal naturală. Datele au fost analizate cu software-ul Aptec MCA Multichannel Analyzer. Mai multe detalii cu privire la măsurarea razelor gamma utilizate în acest studiu pot fi găsite (IAEA, 2007), Adelikhah M et.all (2020), Shahrokhi A, et.all. (2020). Detectorul este calibrat în mod regulat conform protocoalelor AIEA. Informații înrudite cu privire la procesul de calibrare sunt prezentate într-o publicație anterioară (Shahrokhi A, et.al. 2021).

Au fost recoltate 18 probe de la 18 magazine de desfacere a materialelor de construcție din Attica, Grecia, pentru evaluarea radioactivității (Giagias E., 2017). În

Tabelul 3.5, sunt prezentați indecși locațiile de unde au fost colectate probele, tipurile de materiale de construcție cel mai frecvent utilizat pentru locuințe unifamiliale.

Toate activitățile eșantioanelor au fost calculate folosind standardele AIEA. ^{232}Th a fost determinat din vârfurile de 238 keV (^{212}Pb), 338 keV (^{228}Ac) și 911 keV (^{228}Ac), ^{238}U din vârfurile de 92 keV (^{234}Th) și 63 keV (^{234}Th) și ^{40}K de la 1460 keV. Timpul de măsurare în toate cazurile a fost mai mare 48 de ore, cerință necesară pentru a se obține un număr suficient de mare de date în vederea obținerii incertitudinii maxime necesare de $\pm 10\%$, în intervalul de încredere două sigma. Pentru calcularea activității s-a folosit metoda relativă prin păstrarea aceleiași geometrii și matrice între eșantion și materialele de referință certificate (IAEA-312, 327 și 385).

3.4 Capitolul IV.

Este dedicat studiului Radonul de interior din 23 locuințe rezidențiale din Zona Metropolitană Atena și 2 din Argolida constituind cel mai voluminos Capitol din Teză.

La structurarea acestui Capitol au fost luate în considerație;

- a) Stadiul cunoștințelor, pe plan mondial, privind pericolul pe care-l prezintă Radonul pentru sănătatea umană corelat cu stadiul conștiințelor în acest domeniu pe plan Național,
- b) Creșterea interesului pentru studii mai aprofundate privind distribuția radonului pe suprafața Globului terestru,
- c) Dezvoltarea unor aparate și tehnici de măsură acreditate și disponibile comercial,
- d) Aparatura și tehnicile moderne disponibile la Centrul de Radioactivitatea Mediului și Date Nucleare de la Universitatea Babeș-Bolyai, Cluj-Napoca, România,
- e) Stabilirea unor colaborări la nivel internațional între acest Centru și Instituții și Grupuri de cercetători, în principal, din Europa,
- f) Rezultatele obținute de acest Centru și interesul de a-și extinde studiile și în Grecia,
- g) Rezultatele obținute după dezvoltarea detectorilor, numărării urmelor de pe detectori și convertirea acestora în valorii medii ale concentrațiilor de Radon,

pentru cei 75 de detectori amplasați în 25 locuințe din Grecia pe parcursul a trei anotimpuri, au fost tabelate și în funcție de indexul locului unde au fost montați detectori și anotimpuri.

- h) Rezultatele au fost publicate (Giagias 2015a, 2015b) iar în concluzie s-a stabilit că există a variație sezonală ale concentrațiilor de radon iar abaterile mari de la media valorilor au fost puse pe seama lipsei de ventilație,
- i) Luând în considerare de cunoștințele acumulate pe plan internațional și elaborarea Hărților de Radon pentru majoritatea țărilor din Europa am considerat necesară o revizuire a rezultatelor noastre raportate la valorile extrase din Harta de Radon a Greciei, pe care le-am luat ca punct de referință,
- j) S-a ajuns la concluzia că geologia și activitățile seismotectonice existente în zonă ar putea explica aceste abateri față valorile specificate pe hartă,
- k) Studii mai vechi sau ulterioare, acestui studiu, au menționat, de asemenea, valori extreme ale concentrațiilor de radon fără a le atribui direct geologiei.

În prima parte a Capitolul patru se prezintă date geografice, geologice și geofizice a zonei de studiu, Zona Metropolitană Atena (ZMA) și Argolida (Peloponez) Grecia, care ar putea fi de folos la interpretarea rezultatelor finale. Cum atât factorii climatici cât și cei Geofizici afectează, în timp, valorile concentrațiilor de radon.

Efectul factorilor geofizici asupra sănătății și comportamentului uman nu este o imaginație sau o fantezie. Există un număr crescut de lucrări în ultimii ani care demonstrează corelația dintre variațiile câmpului geomagnetic (GMF) și parametrii sănătății umane. Multe ipoteze teoretice au fost prezentate în căutarea mecanismului plauzibil prin care sistemele vii și ființele umane percep și reacționează la modificările GMF.

Factorii de bază geofizici și de mediu care ar putea afecta sănătatea și comportamentul uman sunt: modificări ale activității solare, variații GMF, modificări meteorologice precum și modificări ale proceselor geochimice și tectonice. Există fapte că toate s-ar putea influența reciproc. De aceea este foarte greu să separăm diferitele influențe și este foarte ușor să ometem efectele asupra ființelor umane. Se poate rezuma că întregul organism uman, reacțiile psihice și comportamentul răspund la schimbări bruște de diferite tipuri în GMF. Atenția noastră deocamdată este îndreptată doar asupra influenței acestor factori asupra prezicerii cât mai corecte a emanațiilor de radon, acumularea acestora în interiorul clădirilor, riscului pe care-l prezintă pentru sănătatea oamenilor care-și desfășoară activitatea în asemenea locuri și ce măsuri trebuie întreprinse pentru a diminua aceste riscuri.

Studiul variațiilor concentrațiilor de radon de interior atât pe mapamond cât și în Grecia reprezintă o preocupare de cel mai mare interes. Până în prezent au existat mai multe studii la scară mică și mijlocie Nikolopoulos et.al., (2013 și alte două studii de radon de mare amploare: unul efectuat pe o perioadă lungă de timp (din 1995 până în 1998) folosind detectoare de urme montate în 1277 de locuințe, efectuat de Universitatea din Atena și unul din 1999-2006 efectuat de către echipa de la Laboratorul de Tehnologie Nucleară, Universitatea Aristotel din Salonic, Clouvas et.al., (2009). În cel de-al doilea studiu au fost folosite detectoare de radon pasive (electreți) în 561 de locuri de muncă. Grecia se numără printre țările care au o Hartă digitală pentru întreg teritoriul (Radon Map Greece <https://eeae.gr/en/radon-map>). La elaborarea hărții s-a folosit grila standard de cartare a radonului formată din celule cu latura de 10x10 km. Deși, acest tip de hărți, oferă numai informații orientative ele s-au dovedit foarte utile arhitecților ca o primă evaluare a riscului de radon pentru terenurile pe care ar urma să se construiască clădiri.

Din punct de vedere al Climei datorită suprafeței mari, Atena metropolitană are o varietate de climate. Cea mai mare parte a zonei metropolitane Atenei are o climă mediteraneeană caldă de vară, în timp ce unele zone din Riviera Atenei, din Câmpia Thriasio și unele zone din vest au un climat semi-arid cald. Media minimă zilnică în perioada de Iarnă se situează între 7,1 °C pentru Ianuarie și 9,2 °C pentru Martie iar pentru Decembrie 8,7 °C. Media temperaturii minime anuale este de - 6,5 °C. Totuși temperatura maximă anuală ajunge la 44,8 °C astfel că pe parcursul unui an diferența între temperatura minimă și cea maximă ajunge la 51,35 °C. Toate aceste particularități ale climei trebuie luate în considerare la analiza rezultatelor.

Din punct de vedere al factorilor geofizici situația Atticii este una specială. Complexitatea geologiei Ariei Metropolitane Atena (AMA) este determinată de: (a) coexistența în zonă a formațiunilor de rocă de bază sedimentare și stâncoase; (b) eterogenitatea stratigrafică și litologică; (c) existența unor tipuri litologice similare în formațiuni diferite, de ex. calcar din aproape toate formațiunile geologice ale AMA (Șistul de Atena, Gresie-Marnă de Atena și întreaga culme calcaroasă a Atenei, dealurile calcaroase din Cretacicul superior de la poalele Muntelui Egaleo); (d) deformarea tectonică puternică; și (e) alterarea semnificativă rocilor locale din cauza circulației apelor.

Zona Metropolitană Atena se întinde peste Bazinul Atenei, un bazin neogen-cuaternar, îngust, în formă de pană, pe peninsula Attica, limitat la vest, nord și est de Munții Egaleo, Parnitha, Pentelikon și respectiv Hymettus., pe când spre sud-vest se deschide spre golful Salonic. Bazinul Atenei se formează de-a lungul contactului unității litotectonice pelagionice (sau subpelagionice) la nord-vest, cu Complexul Attic-Cicladic la sud-est (Fig. 4.3).

Prin mijlocul Zonei Metropolitane Atena trece o falie de forfecare activă care practic o taie în două iar în cele patru colțuri mai există încă patru falii de subducție sau alunecare. Există un vulcan intrat în categoria activ și zeci de izvoare termale cu temperaturi de până la 100 °C. Mai multe detalii privind aceste aspecte sunt date în Anexa 2.

Întrucât Grecia are o Hartă de Radon mai întâi s-au delimitat zonele de interes și s-au trecut valorile medii de Radon ,conform rezultatelor obținute în momentul întocmirii acestei Hărți, Figura 4.5. și s-a calculat doza efectivă anuală pentru aceste valori, Tabela 4.4. Am ales această opțiune pentru a avea un prag de referință față de rezultatele noastre.

Desfășurarea experimentului a constat în expunerea detectorilor CR-39 timp de trei perioade a câte trei luni, din martie 2013 până în martie 2014. Detectorii au fost amplasați la o distanță de cel puțin 0,5 m de perete și pentru a obține probe mai reprezentative de aer din zona de respirație, cât mai departe de ferestre și uși.

Sunt analizate și discutate amănunțit rezultatele obținute la toate locațiile unde au fost montați detectorii în funcție de situarea respectivei locații pe harta zonei de studiu, perioada de expunere, compararea rezultatelor obținute cu cele de pe harta de radon a Greciei și emiterea de ipoteze privind eventualele nepotriviri.

Rezultatele obținute sunt în corelație bună cu geofizica ariei de studiu rezultând o abatere semnificativă față de harta de radon cu o creștere proporțională pentru toate anotimpurile. Cele mai mici valori corespunde Primăverii și cele mai mari Iernii.

Din cele 25 case supuse studiului 15 au media, pe trei anotimpuri, a concentrațiilor de Radon sunt sub valoarea minimă de referință ($100 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$) și 10 case sub nivelul de acțiune ($200 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$). Prin urmare toate cele 25 de case întrunesc măsurile de reglementare prevăzute de legislația Europeană dar și cele prevăzute de legislațiile din Grecia și România (UNSCEAR 2000). Factorul de distribuție $R^2 = 0,9445$, indică o corelație surprinzător de bună între valorile individuale corespunzătoare fiecărui sezon. Mai indică, de asemenea, că sursele de radon care contribuie la variația concentrațiilor pentru radonul de interior sunt aceleași urmărind variațiile sezoniere. Valorile medii pentru Doza anuală efectivă, exprimate în mSv/an , au fost: 1,56 pentru Primăvară, 2,75 pentru Vară și 3,94 pentru Iarnă. În concluzie toate cele 25 de case întrunesc măsurile de reglementare prevăzute de legislația Europeană dar și cele prevăzute de legislațiile din Grecia și România (ICRP 65, 1994, UNSCEAR 2000) pentru doză.

Alt sondaj efectuat de Grupul Nicolopoulos în regiunea Attica, a obținut rezultate asemănătoare cu cele din prezentul studiu. Domeniul de variație a concentrațiilor medii de radon, obținute în prezentul studiu, a fost cuprins între 23 și $247 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, (tabela 4.30) iar

domeniul de variație a concentrațiilor de radon obținut de grupul Nicolopoulos a fost cuprins între 3,7 și 261 Bq.m⁻³, tabela 4.39.

3.5 Capitolul V

Se axează pe studiul radioactivității materialelor de construcții frecvent utilizate în Grecia. Se pornește de la prezentarea seriilor de dezintegrare radioactivă, scoțând în evidență contribuția Radiului 226 și a Thoriului 232 la generarea Radonului. Din fericire, se estimează că 99,8 % din Toriul ingerat este eliminat de organism. Se continuă cu prezentarea surselor de radon care influențează radonul de interior după care sunt prezentate studiile efectuate pe cele 18 probe de materiale de construcții.

Originea materialelor radioactive naturale datează de la crearea universului, fiind responsabil atât pentru radiația terestră, cât și pentru cea extraterestră. Cele mai multe dintre materialele radioactive naturale rezultă din lanțul de dezintegrare a ^{K 40}, ^{Ra 226} și ^{Th 232} și se regăsesc în proporții diferite în toate solurile și rocile. În probele de sol, măsura radioactivității naturale este dată de obicei de activitatea specifică reprezentativă a radionuclizilor: Ra 226 Th 232, K 40 și U 238 (NCRP, 1993).

Deși, elementul părinte, U 238 nu prezintă efecte adverse asupra mediului, inhalarea nuclidului său fiică ^{Ra 226} este cunoscut că prezintă un grad ridicat de risc pentru organele umane, în special pentru plămâni, care duce la cancer pulmonar (Giagias, et.al., 2017).

Radioactivitatea naturală din materialele de construcție este responsabilă pentru expunerea la radiații internă și externă a populațiilor umane care trăiesc în locuințe realizate din astfel de materiale de construcție (Karahan, & Bayulken, 2000; Yalcin, 2012; UNSCEAR, 1982). Distribuția radionuclizilor naturali nu este uniformă pe toată suprafața Pământului, prin urmare, a înțelege contribuția lor la concentrațiile de radon în locuințele este importantă pentru a cuantifica expunerea populației umane la NORM, deoarece majoritatea oamenilor își petrec 80-90% din viața lor în interior (UNSCEAR 1988a, UNSCEAR 1988b, UNSCEAR 1993).

Studiile anterioare au arătat că doza medie eficientă din interior la nivel mondial datorată radiațiilor gamma provenite din materialele de construcție este estimată la

aproximativ de $0,4 \text{ mSvy}^{-1}$ (UNSCEAR 1993). Prezența radionuclizilor naturali în materialele de construcție într-o cantitate care depășește limita acceptabilă internațional a primit o atenție globală (UNSCEAR 1993, Khan, et.al., 2020; Kant et.al., 2006; Maxwell, et.al.). Activitatea radionuclizilor depinde de setarea geologică și geografică, precum și de caracteristicile geochemice ale materialelor (Faheen , et.al., 2008; UNSCEAR 1988a).

Multe studii au investigat elementele radiologice din diferite probe de sol, sedimente și roci. Cu toate acestea, există puține sau deloc informații despre pericolele radiologice asociate cu depozitele de Marmură, Piatră naturală (utilizate în cantități mai mici), Ciment, Cărămidă, Mortar și Nisip (nelipsite din majoritatea construcțiilor).

Expunerea la radiații a populației poate crește în mod apreciabil prin utilizarea materialelor de construcție care conțin niveluri peste normal de radionuclizilor naturali de origine terestră cum ar fi K 40, Ra 226, Th 232 și U 238. Consecințele radiologice importante ale radioactivității naturale în materialele de construcție sunt duble: (1) iradierea corpului uman cu raze gamma și (2) iradierea țesuturilor pulmonare cu ^{222}Rn , în special prin producții de dezintegrare ai acestuia.

18 probe, constând în diferite materiale folosite frecvent pentru construcția clădirilor au fost colectate aleatoriu din diferite localități de pe teritoriul Greciei, în conformitate cu ghidul de colectarea a probelor din mediu înconjurător pentru analiză (IAEA 1989). Fiecare probă a primit un index unic de identificare. Pe parcursul recoltării probelor coordonatele fiecărei loc de eșantionare a fost înregistrat folosind sistemul global de poziționare GPS cu aparatul de Garmin eTrex 309. Probele colectate au fost ambalate și transportate în siguranță la Centrul de Date Nucleare și Radioactivitate a Mediului, Universitatea Babeș-Bolyai, Cluj-Napoca, România, pentru prelucrare și analiză. Tipuri de materiale au fost următoarele: Marmură 8 probe, Piatră naturală 3 probe, Ciment 3 probe Cărămidă 2 probe, Mortar o probă și Nisip o probă. Măsurătorile au fost efectuate folosind un sistem spectrometric gamma HPGe de înaltă rezoluție (EG&GORTEC, GWL-120–15, SUA) cu 34,2% eficiență relativă de detecție și timp de determinare sub 40.000 s((Khan et.al. 2020).

Pentru calculul concentrațiilor activității radionuclizilor Ra 226, Th 232 U 238 și K 40 a fost folosită ecuația 5.1. Calculele detaliate pentru fiecare dintre

radionuclizii Ra 226, Th 232 U 238 și K 40 pentru fiecare probă sunt date în Fișele de calcul 5.4 - 5.13 din Anexa 1.

În tabela 5.4 sunt prezinte concentrațiile activităților radionuclizilor, U 238, Th 232, Ra 226, și K 40 în (Bq/kg), determinate din spectrele gamma pentru fiecare probă. Pentru prelucrarea statistică a datelor, din tabela 5.5, s-a făcut cu utilitarul Excel 2019 prin înlocuirea limitelor de detecție cu valorile numerice ale acestora. Principalele rezultate obținute sunt:

- U 238, AM este de 12,21 (Bq/kg); intervalul de încredere = 5,69 (Bq/kg), pentru $\alpha = 0,05$; Valoarea intervalului încredere = $12,7 \pm 5,69$ (Bq/kg),
- ^{234}Th , AM este de 9,01 (Bq/kg); intervalul de încredere = 5,08 (Bq/kg), pentru $\alpha = 0,05$; Valoarea intervalului încredere = $8,94 \pm 5,08$ (Bq/kg),
- Ra 226, AM este de 26,89 (Bq/kg); intervalul de încredere = 15,71 (Bq/kg), pentru $\alpha = 0,05$; Valoarea intervalului încredere = $26,88 \pm 15,71$ (Bq/kg),
- K 40, AM este de 111,07 (Bq/kg); intervalul de încredere = 111,07 (Bq/kg), pentru $\alpha = 0,05$; Valoarea intervalului încredere = $111,07 \pm 68,22$ (Bq/kg)

O atenție deosebită a fost acordată calculului indicilor de pericol radiologic pentru fiecare probă în parte și apoi pentru fiecare grup din materialele studiate.

Valorile medii ale concentrației de activitate au fost: $137 \pm 39,9$ (Bq/kg) pentru K 40, rang 2,3 - 548,0 (Bq/kg); $31,6 \pm 11,6$ (Bq/kg) pentru Ra 226, rang 0,7-184,5 (Bq/kg); $10,3 \pm 3,1$ (Bq/kg) pentru Th 232, rang 1-48,3 (Bq/kg) și $11,4 \pm 11,3$ (Bq/kg) pentru U 238, rang 1-74,2 (Bq/kg), ultima linie din tabela 5.6.

Prin compararea valorilor medii ale concentrației de activitate tipice pentru materialele din categorii similare cu cele studiate, prezentate în tabelele 5.7 și 5.8, si anume 38,3 (Bq/kg) pentru Ra 226, 33,3 (Bq/kg) pentru Th 232 și 425 (Bq/kg) pentru K 40, tabela 5.7, și 25 (Bq/kg) pentru Ra 226, 25 (Bq/kg) pentru Th 232 și 370 (Bq/kg) pentru K 40, tabela 5.8. constatăm că toate sunt mai mici sau apropiate de valorile medii tabela 5.5 și prin urmare îndeplinesc cerințele reglementărilor în vigoare.

Analizând valorile individuale ale concentrațiilor de activitate pentru fiecare probă și pentru fiecare dintre radionuclizii K 40, Ra 226 și Th 232 constatăm că valorile medii ale concentrațiilor de activitate nu reflectă corect particularitatea fiecărei probe unele depășind valorile recomandate. Din acest motiv se reiau toate calculele pentru

fiecare grup de materiale în parte. Rezultatele pentru cei 18 parametri studiați pentru fiecare probă în parte sunt prezentate în tabela 5.9 și 5.9 continuare.

3.6 Capitolul VI

Își propune să pună în evidență multitudinea cerințelor pe care Arhitecții și Constructorii trebuie să le implementeze în proiectele lor pentru a face față încălzirii globale și eficientizării energetice în special a locuințelor, spațiilor publice și locurilor de muncă.

*Probabil că problemele de sănătate asociate cu mediul construit au început atunci când locuitorii peșterilor s-au luptat să evacueze fumul din adăposturile lor primitive. **Hipocrate**, filosof grec și „părintele medicinei” a fost unul dintre primii indivizi cunoscuți care a examinat în mod rațional natura efectelor negative asupra sănătății în spațiile de muncă și de locuit. În tratatul său, „Despre aer, apă și locuri”, **Hipocrate** a emis ipoteza că boala este o manifestare directă a unui „loc nesănătos”, mai degrabă decât o formă de pedeapsă a zeilor furioși. Calitatea aerului, a apei, a hranei și a condițiilor generale de viață, împreună cu elementele climatice ale vântului, soarelui și ploii, toate au contribuit, potrivit lui Hipocrate, la bunăstarea persoanelor (Samet & Spengler, 1991).*

Pe parcursul ultimilor două decenii încălzirea globală și schimbările climatice devin probleme majore pentru societatea umană. Clădirile, atât cele comerciale cât și cele rezidențiale, contribuie în mod semnificativ la consumul de energie (Lin, 2011).. Consumul de energie în clădiri crește semnificativ anual datorită nevoilor și serviciilor sporite ale confortului uman (Shehadi, 2018). În afară de condițiile meteorologice mai sunt mulți factori care afectează consumul de energie utilizat pentru răcirea, respectiv încălzirea clădirilor, cum ar fi structura peretelui, raportul fereastră-perete și orientarea clădirii (Dong, 2010, Gellings, 2009). Pentru a exploata acest potențial și a modela sectorul construcțiilor cu creștere rapidă în mod durabil, trebuie implementate urgent scheme și politici de finanțare adecvate, precum și tehnologii eficiente (UNEP 2021).

Datorită creșterii gradului de conștientizare a vulnerabilității mediului ecologic al Pământului, ecologiștii au promovat designul pasiv de conservare a energiei de la

sfârșitul secolului 20. În urma creșterii accelerate a efectului de seră și a crizei energetice globale, începutul secolului al XXI-lea a obligat lumea să aleagă între designul pasiv durabil care economisește energie și designul activ consumator de energie care satisface nevoia de confort. Acest lucru a dus la noua paradigmă a utilizării inteligente a energiei. Comunitățile și locatarii acestora ar trebui să utilizeze noi metode, cum ar fi senzori, baterii de stocare și convertoare de energie pentru a îmbunătăți condițiile de mediu din case (Capelli, 2006).

Caracteristica cheie a unei case autonome este utilizarea tehnologiei energiei verzi pentru a reduce încărcarea mediului, creând în același timp un mediu de viață durabil, de înaltă calitate și confortabil. În domeniul arhitecturii, „autonomia” are două implicații: controlul autonom și autosuficiența (Harper, 2009). Autonomia înseamnă că cineva poate gestiona în mod independent propriul consum și poate lua decizii independente fără influența sau controlul altora (The American Heritage, 2009; Yourdisctionare, 2008). Autosuficiența înseamnă că cineva poate menține autosuficiența în resurse precum hrana, apa și energia (Moench, 2004) contribuind la folosirea rațională a resurselor.

În arhitectură, casele simple, autonome, se referă la locuințele popoarelor de nomazi. Desigur, nomadismul este văzut și ca un stil de viață exemplar autosuficient. În domeniul protecției mediului, autonomia a devenit recent un principiu cheie în tehnologiile energetice verzi și în gestionarea resurselor de apă (Lampinen, 2004; Voss, 1996).

Directiva revizuită privind performanța energetică a clădirilor (2010/31/UE, 2018/844/UE) prevede pentru UE o țintă privind eficiența energetică pentru 2030 de 32,5% cu o clauză de revizuire în sus până în 2032. Agenția Internațională pentru Energie (IEA, 2014, IEA 2021) a remarcat, de asemenea, că, deși există un potențial pentru beneficii semnificative pentru sănătate și bunăstare asociate cu îmbunătățirea eficienței energetice; de asemenea, este documentat faptul că, în cazul în care măsurile de eficiență energetică sunt puse în aplicare incorect, acestea pot avea un impact negativ asupra calității mediului interior (IEQ) și, prin urmare, asupra sănătății și bunăstării.

Noile concepte de clădiri aplică adesea tehnologii noi și inovatoare în ceea ce privește construcția, încălzirea și ventilația. Trebuie analizat efectul acestor tehnologii asupra altor aspecte importante, cum ar fi calitatea aerului din interior.

Una din substanțele importante care contaminează aerul de interior este radonul, gaz nobil radioactiv. Factorii specifici clădirii, cum ar fi fisurile, crăpăturile, găurile etc. în fundațiile clădirii, diferențele de presiune pe carcasa clădirii (efectul de stivă) care acționează ca forțe motrice pentru intrarea convectivă a radonului din sol, iar ratele de ventilație controlează nivelul de radon din interior (în asociere cu concentrația de radon din sol și permeabilitatea solului de sub clădire).

Modificarea caracteristicilor energetice ale unei locuințe care reduc pierderile de căldură poate afecta etanșeitățile clădirii și implicit calitatea aerului din interior. Micșorând debitul de ventilație naturală, are loc o acumulare a poluanților care ajung în interiorul clădirii, inclusiv a radonului. (Korniyenko, 2018; Nero, 1983). Creșterea concentrației de radon în interior clădirii după reabilitare pentru a reduce pierderea de încălzire a fost studiată în țări diferite. Creșterea de mai multe ori a concentrației de radon a fost evidențiată în anumite case unifamiliale după instalarea de noi ferestre din PVC în regiuni cu potențial ridicat de radon geogenic în Republica Cehă (Milner, 2014). În Franța, au fost întreprinse măsuri tehnice de reducere a pierderilor de căldură din clădiri la mai mult de jumătate, ceea ce a dus la creșterea mediei geometrice a concentrației de radon cu 1.615. De asemenea, creșterea concentrației de radon a fost observată în casele modernizate din Elveția (Burkart, 1984; Pampuri, 2018) și Germania (Meyer, 2019). În Anglia, măsurile de reducere a permeabilității anvelopei caselor unifamiliale au dus la o scădere a ventilației necontrolate cu o medie de 1,9 ori (Milner, 2014) și la o creștere a concentrației de radon de aproximativ 1,7 ori (Symond, 2019).

Efectele adverse ale radonului asupra sănătății sunt bine documentate (de exemplu, OMS, 2009). Prin urmare, se are în vedere reglementarea și atenuarea care, printre alte măsuri, necesită cunoașterea întinderii geografice ce prezintă pericolului datorită radonului. Riscul de radon este adesea definit ca probabilitatea ca radonul din interior să depășească un risc; sursa geogenică a pericolului (sau a riscului potențial) într-o locație sau peste o zonă este bine descrisă de potențialul său geogenic de radon (GRP). Cunoașterea GRP al unei zone poate susține decizia dacă sunt necesare

măsurători locale suplimentare în zonele de dezvoltare planificată. Factorii care influențează concentrația de radon în interior sunt obiceiurile de viață, cum ar fi ventilația și structura clădirii, inclusiv materialul de construcție sau prezența și tipul de subsol și pivniță sub casă.

Potențialul geogenic de radon (GRP) descrie potențialul sursei de radon din interior „ceea ce oferă Pământul”, deoarece, în general, subsolul (concentrația de radon din gaz din sol) este principala sursă pentru concentrația de radon în interior (UNSCEAR, 2000). GRP este independent de influența oricăror factori legate de clădire sau de obiceiurile de viață. Pe lângă aceasta, relația dintre concentrația de radon din gazul din sol și concentrația de radon în interior este bine cunoscută (Appleton & Miles, 2010; Chen et.al.,2010; Kemski et.al., 2005).

Centrul Comun de Cercetare al Comisiei Europene are în centrul atenției întocmirea unor hărți ale Potențialul geogenic de radon (GRP), care diferă substanțial de hărțile clasice de radon, ar permite o mai bună precizie a estimarea cu suficientă precizie a riscului la radon în orice zonă de pe hartă utilizând ca date de intrare Baze de date deja existente, cum sunt cele climatice, geologice, radiații naturale, seismice și tectonice în vederea cuantificării GRI pe suprafețe mai compacte unde ar trebui construite clădiri sau amenajate spații de agrement printr-o matrice cu celule sub 500 m, în funcție de suprafața evaluată.

4 STUDIUL RADONULUI DE INTERIOR DIN LOCUINȚE REZIDENȚIALE DIN ZONA METROPOLITANĂ ATENA ȘI ARGOLIDA (PELOPONEZ)

Au fost alese cinci zone de studiu (Atena Sud, Atena Nord, Atena Est, Piraeus - cunoscută ca Zona Metropolitană Atena sau Atena Mare (great Atena) la acestea se adaugă și zona Argolida, orașul Epidavros din regiunea Peloponez, toate ținând de Provincia Attica.

Attica, care cuprinde întreaga zonă metropolitană a Atenei, capitala țării și cel mai mare oraș, este o regiune foarte aglomerată, care se întinde pe aproximativ 3808 km² are puține parcuri și zone verzi. Populația permanentă a crescut la 3,8 milioane de locuitori în 2011, cu o

densitate de 1250 de locuitori/km², din care peste 95% sunt locuitori ai zonei metropolitane Atenei (Hellenic Statistics Authority; <https://www.statistics.gr/statistics/pop>).



Fig. 4.1. Poziția geografică și contextul topografic al regiunii Attica (linia cu negru și săgeata roșie din figură reprezintă conturul spațiului subîntins de . Attica) (accesat la 1 februarie 2023).

Regiunea Attica este o peninsulă triunghiulară care se întinde în Marea Egee și este udată de golfulurile Mării Egee. În centrul peninsulei, există un bazin mare în care a fost construit întregul metroplex (zonă metropolitană contiguă) Atena-Pireu. Acest bazin este înconjurat de patru munți: Hymettus, Parnitha (cel mai înalt munte din Attica), Egaleo și Penteli (Figura 4.1), oferind cantități semnificative de vegetație.

Potrivit Serviciului Național de Meteorologie Elen (HNMS), Attica este una dintre cele mai calde regiuni din Grecia, cu temperaturi medii lunare și înălțimi ale precipitațiilor variind de la 8,8 °C la 28,3 °C și, respectiv, de la 1,6 mm la 12,5 mm (HNMS 2023). În ceea ce privește întreaga peninsulă Attica, cea mai scăzută medie anuală a precipitațiilor se găsește în Anavysos, Riviera Atenei cu aproximativ 310 mm, în timp ce cea mai mare medie anuală a precipitațiilor se găsește în Ippokrateios Politeia cu peste 870 mm. Investigarea sinergiilor dintre insulele de căldură urbane și valurile de căldură din Atena, (Founda & Santamouris 2017) au găsit feedback pozitiv între factori, care pot duce la creșterea riscului termic în orașe.

Fenomenele meteorologice locale, cum ar fi modificările ratei precipitațiilor, frecvența fulgerelor și formarea de nori și ceață, pot fi puternic afectate de insulele de căldură urbane

(Orville, et.al., 2001; Shem, & Shepherd, 2009). În schimb, unul dintre factorii cheie care influențează dezvoltarea și intensitatea unei insule de căldură urbane sunt condițiile meteorologice locale. În acest context, au fost întreprinse numeroase studii pentru a găsi influențele variabilelor climatice singulare (viteza vântului, acoperirea norilor, umiditatea relativă și precipitațiile) asupra mărimii insulei de căldură urbane (Ngarambe, et.al., 2021; Giannaros, & Melas, 2012; Wang, et.al., 2015; Santamouris, et.al., 2017).

Zona metropolitană Atenei se întinde pe 2.929 km² în regiunea Attica și include un total de 58 de municipalități, care sunt organizate în șapte unități regionale, Tabela 4.1. Conform recensământului din 2021 a atins o populație de 3.744.059. Municipalitățile Atena și Pireu servesc drept cele două centre metropolitane ale Zonei Metropolitane Atenei. Există, de asemenea, unele centre intermunicipale care deservește zone specifice. Zona Urbană a Atenei, cunoscută și sub denumirea de Atena Mare, (Greater Athens (Greece)).

Datorită suprafeței mari, Atena metropolitană are o varietate de climate. Cea mai mare parte a zonei metropolitane Atenei are o climă mediteraneană caldă de vară, în timp ce unele zone din Riviera Atenei, unele zone din Câmpia Thriasio și unele zone din vest au un climat semi-arid cald. Potrivit stațiilor meteorologice ale Observatorului Național din Atena și ale Serviciului Național de Meteorologie Elen, zonele din nord au ierni mai umede și mai reci în timp ce zonele din sud au ierni foarte blânde.

Pireul are un climat cald semi-arid și, conform atlasului climatic al Serviciului Național de Meteorologie Elenă, este singura zonă din Attica, Grecia care se încadrează în mod clar în această categorie climatică. Datorită brizelor de pe uscat din noaptea de vară din Atena, Pireul înregistrează temperaturi minime ridicate de vară, în timp ce temperatura medie anuală este de 19,4 °C.

Peloponezul este o peninsulă situată în vârful sudic al continentului, cu o suprafață de 21.549,6 km² și constituie partea cea mai sudică a Greciei continentale. Este conectat la continent prin Istmul Corintului. Peninsula are un interior muntos și coaste adânc crestate. Unitatea regională Argolis este subdivizată în 4 municipii. Acestea sunt: Argos-Mykines, Epidaur (Epidavros), Ermionida, Nafplio. Regiunea Epidaur, un loc cu o istorie bogată, aparține prefecturii Argolida din partea de nord-est a Peloponezului. Își datorează numele teatrului antic din Epidaur, cel mai bine conservat teatru antic din Grecia, care se află la o distanță de 15 km de sat. Vremea pentru luna martie este în medie; temperatura în jur de 15°C, iar noaptea se simte ca 6°C. În martie, Palaia Epidavros primește în medie 49,03 mm de ploaie și aproximativ 5 zile ploioase pe lună. Umiditatea este aproape de 72%.

4.1 Cadru geodinamic al zonei de studiu

Complexitatea geologiei Ariei Metropolitane Atena (AMA) este determinată de: (a) coexistența în zonă a formațiunilor de rocă de bază sedimentare și stâncoase; (b) eterogenitatea stratigrafică și litologică; (c) existența unor tipuri litologice similare în formațiuni diferite, de ex. calcar din aproape toate formațiunile geologice ale AMA (Șistul de Atena, Gresie-Marnă de Atena și întreaga culme calcaroasă a Atenei, dealurile calcaroase din Cretacicul superior de la poalele Muntelui Egaleo); (d) deformarea tectonică puternică; și (e) alterarea semnificativă rocilor locale din cauza circulației apelor.

Zona Metropolitană Atena se întinde peste Bazinul Atenei, un bazin neogen-cuaternar, îngust, în formă de pană, pe peninsula Attica, limitat la vest, nord și est de Munții Egaleo, Parnitha, Pentelikon și respectiv Hymettus., pe când spre sud-vest se deschide spre golful Saronic. Bazinul Atenei se formează de-a lungul contactului unității litotectonice pelagionice (sau subpelagionice) la nord-vest, cu Complexul Attic-Cicladic la sud-est (Fig. 4.3). Pelagonia este rămășițele unui microcontinent, constând din subsol paleozoic cu acoperire carbonată paleozoic-mezozoică (mai ales triasică). Pe partea de sus a acestei platforme carbonatice, ofiolite Vardar de Vest Triasic-Jurassic au fost obduse în timpul Jurassicului superior până la Cretacicul inferior (Doutsos et al. 1993). În timpul Cretacicului superior s-au depus carbonați transgresivi (calcarul Cretacicului superior din Fig. 4.3); sedimentarea a continuat local în perioada Paleocen-Eocen, cu depunerea de fliș (pentru stratigrafia pelagoniană Auboin., (1959); Clement și Guernet, 1971; Bonneau, 1984; Jacobshagen, 1986; Doutsos și colab., 1993; Coleman et al.), 2020). Subsolul Bazinului Atenei constă în principal din Platforma Atena (Papanikolaou et al., 2004) (Fig. 4.3), o platformă locală de origine pelagoniană care se află numai în această zonă. Această platformă datează din Cretacicul superior (Turonian-Maastrichtian), de grosime de câteva sute de metri, eterogen litologic, secvență metaclastică cu intercalări și alternanțe de carbonați și roci magmatice local bazice și ultrabazice (Marinos și colab., 1971 și 1974).

Informațiile despre Geologia și tectonica Regiunii Atica va permite o interpretare mai bună a rezultatelor măsurătorilor de Radon din această Regiune.

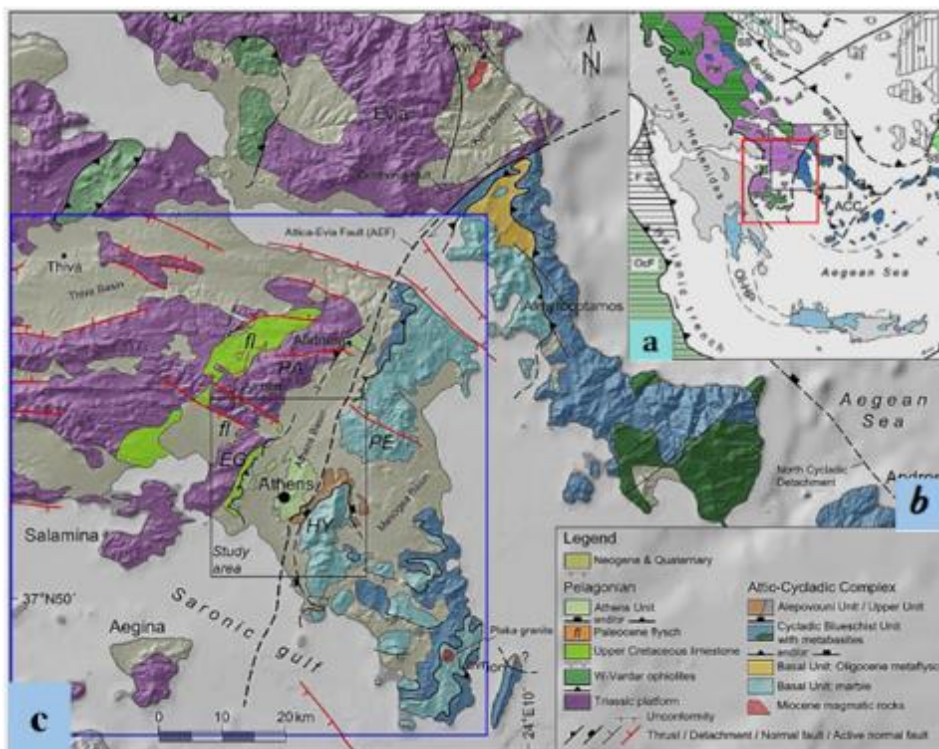


Fig. 4.3: Cadrul geologic al peninsulei Attica și sudul Eviei (Eubeea). a) Privire de ansamblu simplificată și principalele caracteristici tectonice ale elenidelor (Schmid et al., 2020 cu modificări), și delimitarea zonei de studiu, (chenar roșu). b) Harta geologică și tectonică simplificată a zonei mai extinse a peninsulei Attica. PA: Muntele Parnitha, PE: Muntele Pentelikon, EG: Muntele Egaleo. (sursa: harta geologică a Greciei a HSGME; Xypolias et al., 2003; Spanos, 2012; Ring et al., 2007a; Deligiannakis et al., 2018; Tsoudoulos et al., 2007; Coleman et al., 2020; Boronkay, et al., 2021 cu modificări). c) Detalii privind aria de studiu pentru Zona Metropolitană Atena, (chenar albastru). Adaptat după GeoMapApp (www.geomapapp.org)

Întrucât Grecia are o Hartă de Radon mai întâi s-au delimitat zonele de interes și s-au trecut valorile medii de Radon, conform rezultatelor obținute în momentul întocmirii acestei Hărți, Figura 4.5. și s-a calculat doza efectivă anuală pentru aceste valori tabela 4.4. Am ales această opțiune pentru a avea un prag de referință față de rezultatele noastre.

Studiul ^{222}Rn de interior a fost efectuat în 25 de locuințe situate în diferite sectoare din Zona Metropolitană Atena (ZMA) și este de Sectorul Argolida, Peloponez, prezentate în figura 4.6.

Elaborarea Hărții de radon, figura 4.5, s-a făcut pe unități administrative, respectiv Sectoare, în cazul Atenei. Valorile medii ale concentrațiilor de radon sunt calculate pe suprafața subîntinsă de un sector. Suprafața Zonei Metropolitane Atena este 2929 km². Un Sector are o suprafață de cca. 300 km². Numărul de locuințe unde s-a făcut monitorizarea radonului nu este distribuit uniform pe suprafața fiecărui sector din diferite motive, astfel că fiecare Sector are un număr diferit de locații.

În figura 4.6 este prezentată harta ZMA cu cele cinci sectoare. Detectorii au fost montați astfel; 12 Atena sud; 6 Piraeus; 2 Atena Nord și 3 Atena Est. În localitatea Epidavros, Sector Argolida, au fost montați 2 detectori.



Fig. 4.5 – Harta cu zonele de prelevare a Radonului de interior cu detectori de urme CR39 (adaptată după: <https://eeae.gr/en/radon-map>), unde: AN, înseamnă Atena Nord; AE, înseamnă Atena Est; AS, înseamnă Atena Sud; P, înseamnă Piraeus și AR, Argolida.

Tabela 4.4. Valorile medii ale concentrațiilor de radon și Doza efectivă anuală sunt prezentate în tabela alăturată.

| Harta Radonului Grecia | Valori medii (Bq.m-3) | AED (mSv/an) |
|------------------------|-----------------------|--------------|
| AS | 29,00 | 0,83 |
| P/R | 47,00 | 1,35 |
| AN | 58,00 | 1,66 |
| AE | 62,00 | 1,78 |
| AR | 42,00 | 1,2 |

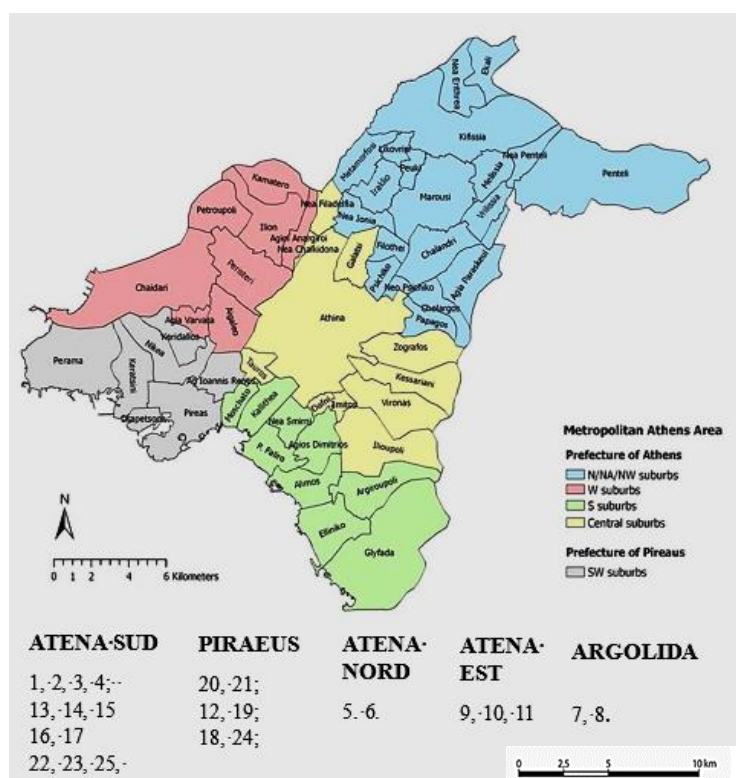


Fig.4.6 Harta compilată; a) Zona Metropolitană Atena; b) Indecși Detectorilor pe Sectoare; și c) Sectorul Argolida - Peloponez.

Studiul ^{222}Rn de interior a fost efectuat în 25 de locuințe situate în diferite sectoare din Zona Metropolitană Atena (ZMA) și este de Sectorul Argolida, Peloponez, prezentate în figura 4.6.

Neavând un etalon pentru concentrațiile de radon s-a considerat normal să ne raportăm la valorile trecute pe harta de radon al fiecărui sector, tabela 4.4 unde s-a trecut și valoarea dozei efective anuale ca principal factor de risc pentru sănătatea ocupanților locuției.

Attica a fost întotdeauna una dintre regiunile Greciei cele mai expuse pericolelor naturale, în special cutremure, inundații, valuri de căldură și incendii forestiere. Expunerea mare a Atticii și a bazinului Atenei, în special, se datorează concentrării mari a populației, activităților, infrastructurii și stocurilor de mare valoare într-o zonă restrânsă care este desemnată ca zonă cu risc la pericole naturale ridicat.

Rezultatele obținute după cele trei sezoane de monitorizare a celor 25 de locuințe au făcut obiectului articolului, "SEASONAL VARIATION OF INDOOR RADON IN DWELLINGS

FROM ATHENS, GREECE" publicat în revista "Rom. Journ. Phys. 2015" Autori; E. Giagias, D. Burghele și C. Cosma. Harta cu punctele de prelevare a acestui sondaj a radonului este cea din figura 4.6.1 1). Și se aseamănă cu harta din figura 4.6 cu deosebirea că nu se raportează la Harta de radon digitală a Greciei deoarece încă nu fusese finalizată. Rezultatele obținute arată existența unor fluctuații mari concentrațiilor de radon în cele trei serii de măsurători și sunt de părere că "Diferențele între valorile concentrațiilor radonului de interior Rn poate fi atribuită unei game largi de factori, cum ar fi cadrul geologic, parametrii climatici, caracteristicile clădirii (ex. nivel, tipul clădirii, prezența unui subsol, data construcției, tipul de ventilație, locuitori)". Rezultatele obținute evidențiază, de asemenea, o variație sezonieră a concentrației de radon în interior.

S-a considerat necesar să se abordeze din alt punct de vedere aceste variații mai ales că autorii nu au exclus influența a "unei game largi de factori ...". S-a pus întrebarea firească. Ce alți factori ar putea alimenta "cvasipermanent" concentrațiile radonului de interior ?

4.2 Trecerea în revistă a geologiei și geotectonicii ZMA și Argolida

Apelând la Hărțile de risc natural și seismotectonice s-a constatat că ZMA este brăzdată de numeroase falii și structuri geologice diferite, figurile 4.6.1.2), 4.6.1.3) și 4.6.1.4) (Foumelis 2013).

Subsolul Atenei aparține formațiunilor alpine care află în munți și dealurile zonei. Sedimentele post-alpine recente (depozite syn-rift) acoperă adesea versanții munților, precum și zone de joasă altitudine. Zona prezintă o structură alpină complexă cuprinzând în principal roci metamorfice mezozoice care apar la munții Pendeli și Hymmetus și roci nemetamorifice mezozoice din unitatea geotectonică estică a Greciei, care apar la munții Parnitha, Poikilo și Aegaleo, figura 4.6.1.4 (Foumelis 2013).

Granița dintre unitățile geotectonice metamorfice și nemetamorifice, deși este în general acceptată ca fiind de origine tectonică, caracteristicile sale geometrice și cinematice exacte nu au fost încă determinate, deoarece nu s-a putut efectua o cartografiere geologică directă deoarece este acoperită cu depozite neogene și cuaternare, figurile 4.6.1.2 și 4.6.1.3, (Papadopoulos et al. 2007).

Localitatea Epidavros se află, de asemenea, în apropierea unei zone brăzdată de falii, cu numeroase izvoare termale de temperatură înaltă și nu departe de un vulcanul activ Methana, figura 4.6.1.5) (Tzanis et.al., 2020). Autorii au arătat că magmatismul plutonic cuaternar la scară largă din NE Peloponezului este controlat de tectonica regională și are loc de-a lungul arcului vulcanic, de-a lungul axelor structurilor tectonice extensive majore (Golful Argolic și Câmpia, Strâmtoarea Hydra) și de-a lungul transcurenței E-V la scară locală. falii care se întind pe Peninsula Argolis. Aceleași principii și condiții par să se aplice la scară locală și adâncimi mai mici: începutul și evoluția MV și a resurselor geotermale par a fi ghidate de aceeași activitate tectonică care controlează magmatismul plutonic al zona mai largă.

Analizând hărțile de risc natural *s-a emis ipoteza* că este posibil ca variațiile anormale ale valorilor medii ale concentrațiilor de radon în zonele studiate în cazul în care locuințele unde au fost montați detectorii se află în apropierea unor falii active, a unor zone cu seismicitate ridicată, chiar dacă intensitatea cutremurelor este în jur de 3 - 3,5 grade pe scara Richter, a unor zone bogate în izvoare termale fierbinți (temperatura peste 80 °C) sau a unor zone vulcanice active (Methana, spre exemplu).

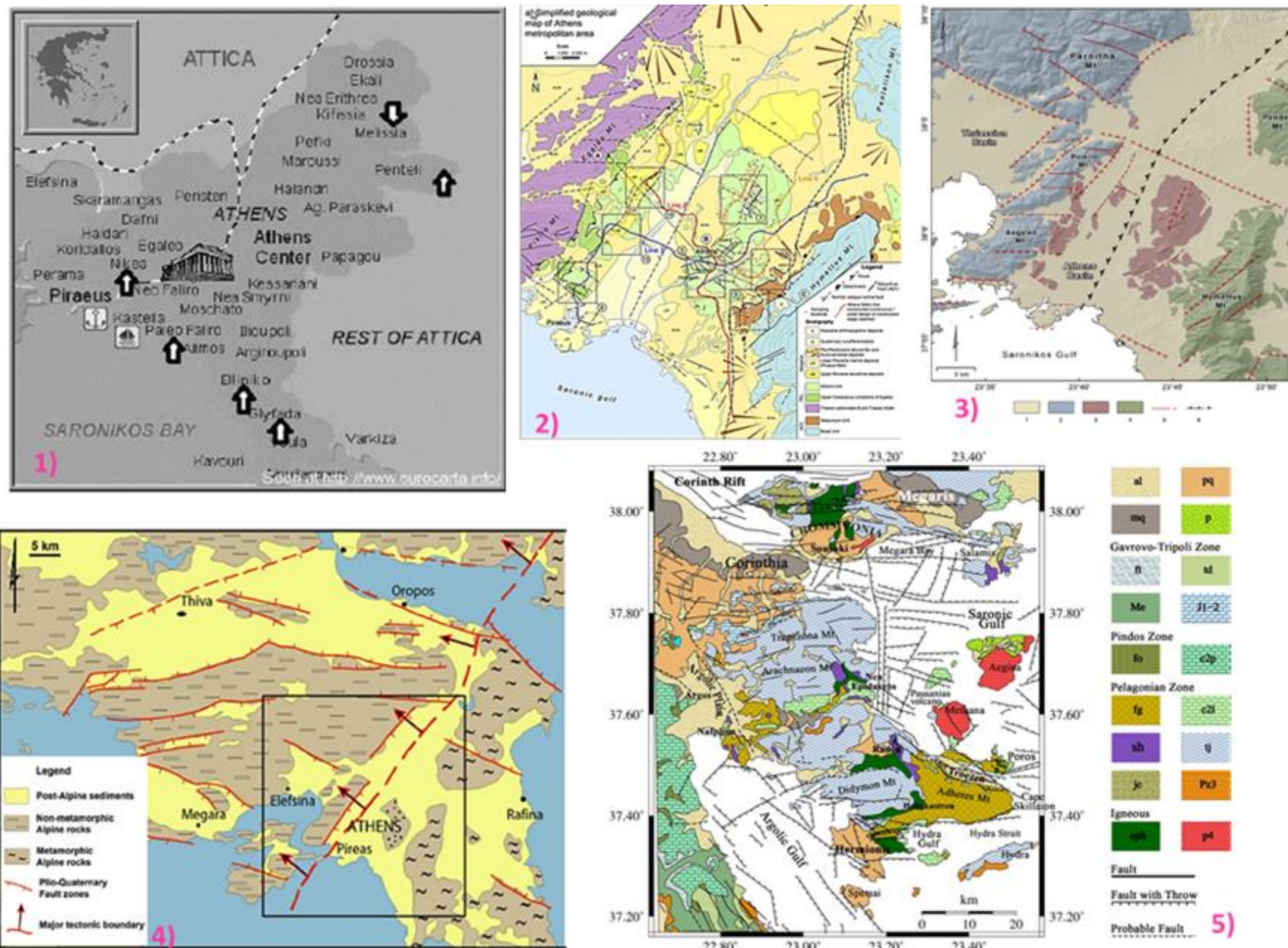


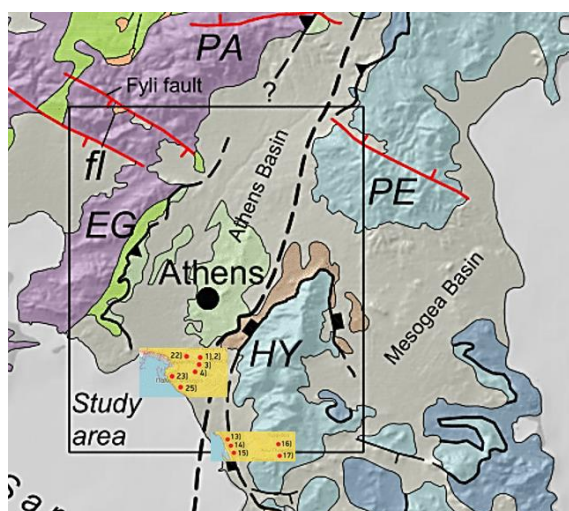
Fig. 4.6.1. Hărțile de risc natural care pot influența emanațiile de radon

4.3 Metodologia de analiză și prelucrare statistică a datelor

Punctul de plecare îl constituie harta din figura 4.3. Figura 4.6.2 (2). Prezintă un decupaj a unei porțiuni din această hartă pe care au fost trecute valorile medii ale concentrațiilor de radon pentru cele 4 sectoare ale ZMZ conform hărți digitale de radon a Greciei.. Pentru sectorul Argolida a fost folosită o altă porțiune din harta de radon a Greciei, figura 4.6.2.(1).

Hărțile prezentate în figurile 4.6.2 3a; 4a; 5a; 6 și 7 aceste zone au fost transpuse pe harta de radon a Greciei pe sectoare. În continuare punctele de eșantionare au fost grupate în cluster, și reprezentate grafic, sub formă de histogramme PIE valorile măsurate cu detectorii CR39. Formarea clusterelor s-a bazat pe criteriul vecinătății, pentru a surprinde orice variație locală a concentrațiilor de radon, figurile 4.6.2. 3b; 4b și 5b.

Pentru punerea în evidență a eventualelor anomalii prelucrarea statistică a rezultatelor se face atât pentru toți detectorii (corespunzători sectorului Piraeus) cât și prin eliminarea valorilor extreme. Se analizează apoi poziția casei în raport cu una din zonele cu risc natural ridicat. Dacă există o astfel de corelație înseamnă că zona prezintă un risc ridicat de radon geogenic care contribuie la creșterea concentrațiilor de radon de interior din locuința respectivă. În situația când clusterul conține numai 2 locații situația se simplifică rezultatul fiind ușor de recunoscut.



O situație aparte se întâlnește la sectorul Atena sud, figura 4.6.2.(4a), unde punctele de eșantionare sunt foarte apropiate între ele .iar gruparea pe cluster cere o analiză mai atentă a hărților de pericol natural. Toate cele trei hărți din figurile 4.2.6.1 2), 3) și 4) cât și figura 4.6.2. (2) indică prezența unei falii de forfecare majore care ”taie” Atena în două dar și sectorul Atena Sud. Cel mai probabil este ca această falie să treacă printre grupul de cluster 1 și 2 și grupul 3 și 4, figura 6.6.2.(4b). De aceea s-a hotărât ca analiza statistică a datelor să se facă atât pentru toți cei 12 detectori dar și separat pe cluster.

Fig. f.n. Zonele de amplasare a detectorilor CR39 din sectorul Atena Sud, translatate la, scară, pe un decupaj din figura 4.3.

Din figura f.n. se observă foarte ușor că toate locațiile din sectorul Atena Sud se află în imediata vecinătate a faliilor care străbat această zonă, ceea ce ne permite să susținem ipoteza că anomaliile din această zonă se datorează radonului geogenic..

Locurile de amplasare a detectorilor atât pentru sectorul Atena est, figurile 4.2.6.(5a) și (5b), cât și sectorul Atena nord, figura 4.2.6.(6), se află de asemenea în vecinătatea faliilor PE și PA.

Pentru sectorul Argolida situația este și mai evidentă zona fiind intersectată de mai multe falii active, izvoare termale și nu este departe de un vulcan activ care se presupune că stă la baza acestor izvoare termale.

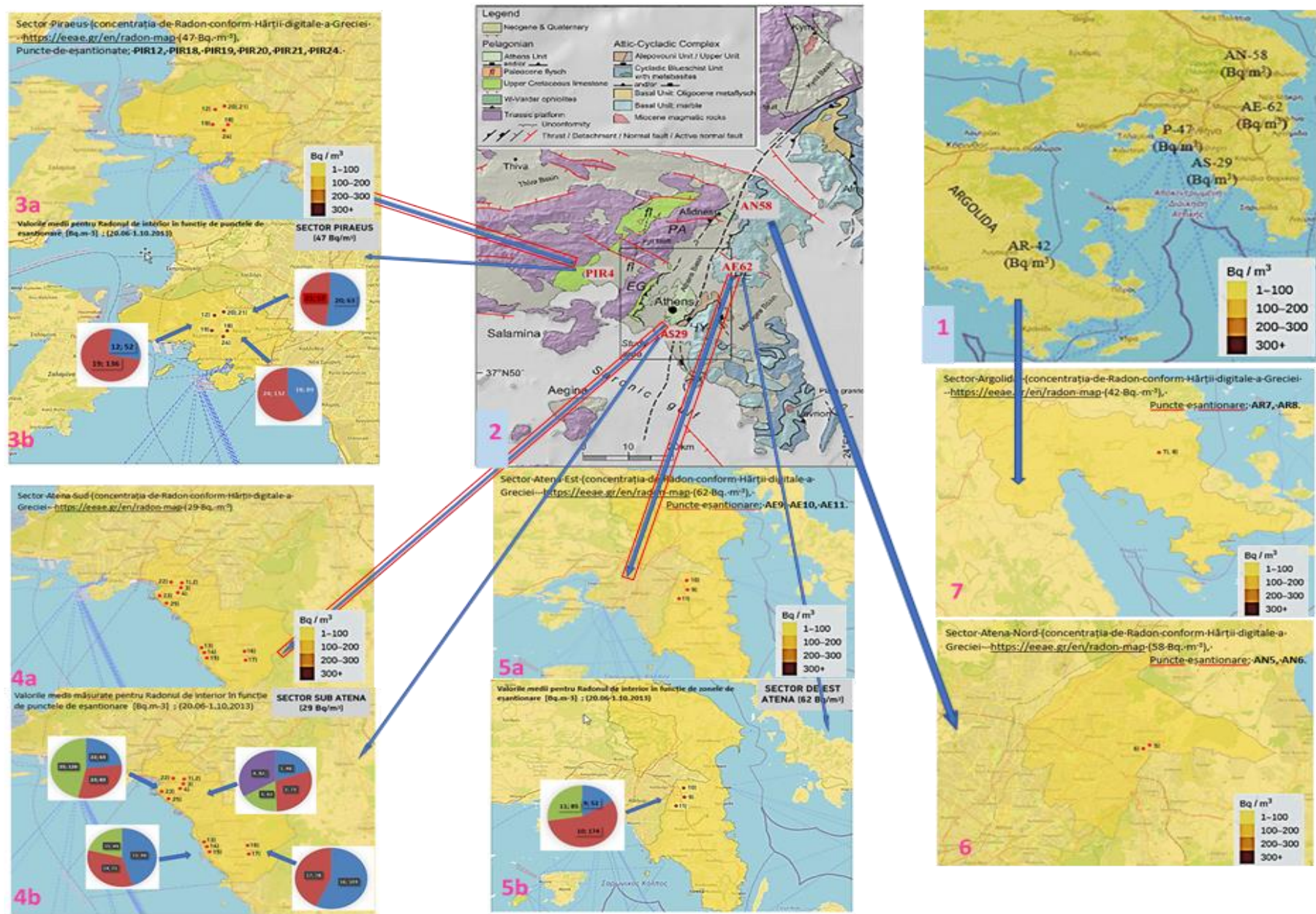


Fig. 4.6.2. Strategia de analiză a rezultatelor măsurătorilor pentru cei 25 detectori .

În tabela 4.5 sunt prezentate următoarele informații; Indecși locațiilor, coordonatele GPS a locurilor de amplasare a detectorilor CR39, perioadele de expunere și indecși unici ai fiecărui detector, valorile concentrațiilor de Radon, și valorile concentrațiilor de Radon în ($Bq \cdot m^{-3}$) pe Anotimpuri iar pe ultimul rând valoarea medie (AM) pe fiecare anotimp. Din nefericire pentru perioada de Iarnă numai 20 detectori au putut fi recuperați, 5 au fost declarați Pierduți. Acest fapt a dus la interpretare mai dificilă a datelor.

Tabela 4.5 . Indecșii unici de identificare a locurilor de amplasare a detectorilor, Coordonatele GPS, Indecșii corespunzători fiecărui detector și valorile concentrațiilor de radon.

| Index LOC. | Primăvară 20/03/2013- 20/06/2013 | Concentratia de Radon [Bq/m ³] | Vara 20/06/2013- 20/09/2013 | Concentratia de Radon [Bq/m ³] | Iarna 20/01/2014- 20/3/2014 | Concentratia de Radon [Bq/m ³] |
|----------------|--|--|-----------------------------------|--|-----------------------------------|--|
| AS1 | V78626 | 137 | V79112 | 49 | V78602 | 143 |
| AS2 | V78611 | 25 | V78655 | 73 | V79074 | 97 |
| AS3 | V79164 | 30 | V79157 | 42 | V79042 | 106 |
| AS4 | V79160 | 80 | V79077 | 82 | V78164 | 80 |
| AN5 | V79064 | 50 | V78606 | 186 | V79165 | 164 |
| AN6 | V79178 | 36 | V78612 | 158 | V78670 | 91 |
| AR7 | V78653 | 76 | V79030 | 165 | V79152 | 159 |
| AR8 | V79013 | 189 | V78677 | 138 | V79194 | 195 |
| AE9 | V79177 | 36 | V79179 | 52 | V78630 | Pierduti |
| AE10 | V79182 | 43 | V79127 | 174 | V75010 | Pierduti |
| AE11 | V79070 | 48 | V78639 | 85 | V75010 | Pierduti |
| PIR12 | V79019 | 85 | V78603 | 52 | V79155 | 246 |
| AS13 | V79080 | 33 | V79186 | 94 | V79170 | 111 |
| AS14 | V79169 | 81 | V79053 | 71 | V79106 | 175 |
| AS15 | V79192 | 23 | V79148 | 44 | V79101 | 133 |
| AS16 | V78623 | 35 | V79025 | 103 | V79190 | 165 |
| AS17 | V79075 | 52 | V79093 | 78 | V78675 | 140 |
| PIR18 | V79014 | 56 | V79089 | 89 | V79180 | 128 |
| PIR19 | V78662 | 44 | V79196 | 136 | V79035 | 155 |
| PIR20 | V79129 | 38 | V79100 | 63 | V79172 | 118 |
| PIR21 | V79113 | 25 | V79195 | 63 | V79159 | 89 |
| AS22 | V78601 | 37 | V79061 | 63 | | Pierduti |
| AS23 | V79119 | 31 | V79015 | 83 | | Pierduti |
| PIR24 | V78668 | 23 | V78608 | 132 | V79109 | 175 |
| AS25 | V79134 | 47 | V79103 | 126 | V79125 | 80 |
| AVERAGE | | 54 | | 96 | | 137,00 |

Cifrele de pe Harta 4.5 reprezintă valorile medii ale concentrațiilor de radon, în $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, extrase din harta de radon a Greciei, corespunzătoare locuințelor unde au fost montați detectori de Radon CR39. În fiecare sector au fost amplasați mai mulți detectori în locații geografice și geologice diferite. Punctele unde au fost amplasați detectorii de radon CR39 precum și Valorile medii ale concentrațiilor de radon și Doza efectivă anuală sunt incluse pe harta din figura 4.5 și tabela 4.4. Aceste valorile medii ale concentrațiilor de radon din Harta de radon a Greciei vor fi utilizate ca valori etalon și vor sta la baza intercomparării rezultatelor măsurătorilor obținute cu detectorii CR39, pe parcursul a celor trei anotimpuri; Primăvara - 20.03 – 25.06.2013, Vara - 20.06 – 01.10. și Iarna 20.01 – 20.03. 2014.

Analiza statistică a nivelurilor înregistrate ale concentrațiilor de radon de interior și distribuția concentrației medii de radon am folosit utilitarul Excel.

Fiecare hartă prezintă **sectorul**, locurile și unde au fost amplasați detectorii CR39 (**valoarea estimată** de Harta digitală de radon a Greciei <http://eeae.gr/en/radon-map>, în colțul dreapta sus, și în hărțile PIE cu valorile individuale măsurate ale concentrațiilor de radon determinate în urma dezvoltării și citirii detectorilor solizi de urme nucleare CR39 corespunzătoare fiecărui punct.

Rezultatele vor sunt prezentate pe Sectoare în ordinea anotimpurilor (spre exemplu; Atena sud Primăvara, Atena sud Vara, Atena sud Iarna, ș.a.m.d. pentru următoarele Sectoare; Atena Sud (AS), Piraeus (PIR), Atena Nord (AN), Atena Est (AE) și Argolida (AR) (situată în zona Peloponez).

5 RADIOACTIVITATEA MATERIALELOR DE CONSTRUCȚII UTILIZATE FRECVENT ÎN GRECIA

Materialele de construcție pot induce în spațiile închise doze de radiații gamma semnificative, datorită conținutului lor natural de radionuclizi. Mai mult, pot fi și o sursă de radon în interior. În ultimii ani a fost creată o bază mare de date cu măsurători ale concentrațiilor activității radionuclizilor naturali (Ra^{226} , Th^{232} , U^{238} și K^{40}) din materialele de construcție (Khan, et.al. 2020).

Cunoașterea parametrilor radiologici de bază, cum ar fi conținutul radioactiv din materialele de construcție, este importantă în evaluarea posibilei expunerii la radiații a populației (Maxvell, et.al., 2018). S-a demonstrat în diferite studii că, dacă se folosesc materiale de construcție cu concentrație mare de radioactivitate naturală, ratele de doză în interior vor crește în consecință (Ali, et.al., 1996). Materialul radioactiv natural din roci și sol contribuie aproximativ 28 milirem sau 8% din doza de radiații pe care o persoană o primește de obicei într-un an din toate sursele, inclusiv expunerile medicale. Deoarece radiațiile de origine naturală sunt responsabile pentru cea mai mare parte a expunerii totale la radiații, cunoașterea dozei primite din aceste surse este foarte importantă nu numai asupra efectelor acesteia asupra sănătății, ci și asupra incidenței altor radiații din surse artificiale. (Fahnen, et.al., 2008).

Acest studiu își propune să determine concentrațiile radionuclizilor naturali (Ra^{226} , Th^{232} U

^{238}U și ^{40}K) și să evalueze riscurile radiologice ale acestuia din probele de materii prime naturale folosite frecvent atât în scopuri domestice cât și industriale în Grecia.

18 probe, constând în diferite materiale folosite frecvent pentru construcția clădirilor au fost colectate aleatoriu din diferite localități de pe teritoriul Greciei, în conformitate cu ghidul de colectarea a probelor din mediu înconjurător pentru analiză (IAEA 1989).

5.1 Măsurarea concentrației activității radionuclizilor.

Au fost determinate concentrațiile activității radionuclizilor naturali (Ra 226, Th 232 U 238 și K 40) și să evalueze riscurile radiologice ale acestuia din probele de materii prime naturale folosite frecvent atât în scopuri domestice cât și industriale din Grecia.

Pentru măsurarea activității au fost parcurse următoarele etape:

a) Au fost măsurate spectrele de radiații gamma ale probelor preparate utilizând detectorul HPGe de tip p coaxial cu fundal scăzut. Pentru a se obține o acuratețe statistică bună s-a folosit un timp de măsurare numărare suficient de mare (peste 80000 impulsuri pe secundă - ips).

b) S-a făcut identificare vârfurile energetice caracteristice radiațiilor gamma corespunzătoare Ra 226, Th 232 U 238 și K 40 în spectrele măsurate prin compararea energiilor vârfurilor detectate cu energiile cunoscute de raze gamma din dezintegrarea acestor radionuclizi.

c) s-a efectuat calibrarea eficienței detectorului pentru energiile specifice ale vârfurilor de raze gamma identificate. Această calibrare ia în considerare geometria probei, distanța față de detector și alți factori care afectează eficiența detectării.

d) A fost calculată eficiența de detecție pentru fiecare energie cu raze gamma utilizând software MAESTRO-32 luând în considerare a matricei eșantionului, a geometriei și a altor corecții.

e) Calculul concentrațiilor de activitate ale Ra 226, Th 232 U 238 și K 40 în probe colectate utilizând aria netă a vârfurilor respectivelor vârfuri de raze gamma, masa probei și a etalonului și concentrația activității etalonului pentru radionuclizii selectați.

Ecuția 5.1 a fost utilizat pentru a calcula concentrațiile activităților radionuclizilor (radu, toriu, potasiu și uraniu) din probele pregătite pentru analiză, tabelul 5.1. Calcularea elementelor radioactive din probă s-a făcut utilizând Excel 2019.

$$C_p = \frac{I_p}{I_e} \times \frac{M_e}{M_p} \times C_e \quad 5.1$$

unde:

C_p = concentrația activității radionuclizilor din probe (Ra 226, Th 232 U 238 și K 40),

I_p = intensitatea foticului probei corectată de fond (ips),

I_e = intensitatea foticului etalonului corectată de fond (ips),

M_e = masa etalonului;

M_p = masa probei;

C_e = concentrația activității radionuclizilor din etalon (Ra 226, Th 232 U 238 și K 40)

Detaliile de calcul a activităților sunt date în Fișele de calcul din ANEXA 1.

Rezultatele finale ale calculelor concentrațiilor activității radionuclizilor studiați (conform fișelor de calcul) sunt centralizate în Tabela 5.3 după cum urmează: colana 1,- codul unic de identificare a probei; coloanele 2, 3, 4 și 5 concentrațiile activităților radionuclizilor studiați K 40, Ra 226, ^{234}Th și U 238, exprimate în (Bq/kg).

Tabela 5.3. *Concentrațiile activităților radionuclizilor U 238, Ra 226, Th 232 și K 40 din probelor studiate în Bq/kg.*

| Cod. | K 40 | Ra 226 | Th 232 | U 238 |
|--|--------------|-------------|-----------|-----------|
| | (Bq/kg) | | | |
| G1 | 24,4 | 28,5 | 2,4 | 16,5 |
| G2 | 8,1 | 2,9 | 1,0 | 1,0 |
| G3 | 2,3 | 4,1 | 1,0 | 1,0 |
| G4 | 10,2 | 14,2 | 1,1 | 10,8 |
| G5 | 8,0 | 2,9 | 1,0 | 2,8 |
| G6 | 8,0 | 14,3 | 1,0 | 7,7 |
| G7 | 27,5 | 5,2 | 2,7 | 1,7 |
| G8 | 8,0 | 3,9 | 1,0 | 3,5 |
| G9 | 27,9 | 1,0 | 2,1 | 1,0 |
| G10 | 4,0 | 0,7 | 1,0 | 2,1 |
| G11 | 7,0 | 3,8 | 1,0 | 2,6 |
| G12 | 8,0 | 4,6 | 1,0 | 6,3 |
| G13 | 181,0 | 1,0 | 1,0 | 3,1 |
| G14 | 548,0 | 38,2 | 48,3 | 30,8 |
| G15 | 460,0 | 18,6 | 26,8 | 12,5 |
| G16 | 65,8 | 14,7 | 14,9 | 12,9 |
| G17 | 245,0 | 140,6 | 20,6 | 29,4 |
| G18 | 356,0 | 184,5 | 24,3 | 74,2 |
| Tabela 5.4 Prelucrarea statistică a datelor | | | | |
| AVERAGE | 111,07 | 26,89 | 9,01 | 12,21 |
| STDEV:P | 169,37 | 49,52 | 12,86 | 17,47 |
| AVEDEV | 137,18 | 31,58 | 10,21 | 11,45 |
| GEOMEAN | 27,93 | 8,04 | 3,23 | 5,55 |
| Min | 2,3 | 1 | 1 | 1 |
| Max | 548 | 184,5 | 48,3 | 74,2 |
| alpha | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Conf.T | 68,22 | 15,71 | 5,08 | 5,69 |
| Inter. Val. | 111,07±68,22 | 26,88±15,71 | 8,94±5,08 | 12,7±5,69 |
| Masa etalonului, $M_e = 62 \text{ g}$ | | | | |
| Limita de detecție: K 40 = 8 Bq.kg^{-1} ; Ra 226 = U 238 = $234\text{Th} = 1 \text{ Bq.kg}^{-1}$ | | | | |

Tabela 5.4 prezintă concentrațiile activităților radionuclizilor, U 238, Th 232, Ra 226 și K 40 în (Bq/kg) determinate în urma prelucrării primare a datelor după citirea urmelor de pe detectorii CR39, pentru fiecare dintre probele măsurate. Pentru prelucrarea statistică a datelor, din tabela 5.4, s-a făcut prin înlocuirea limitelor de detecție (LD) cu valorile numerice ale acestora. Principalele rezultate obținute sunt:

- U 238 AM este de 12,21 (Bq/kg); intervalul de încredere = 5,69 (Bq/kg), pentru $\alpha = 0,05$; Valoarea medie a concentrației activității = $12,7 \pm 5,69$ (Bq/kg),
- Th 232, AM este de 9,01 (Bq/kg); intervalul de încredere = 5,08 (Bq/kg), pentru $\alpha = 0,05$; Valoarea medie a concentrației activității = $8,94 \pm 5,08$ (Bq/kg),
- Ra 226, AM este de 26,89 (Bq/kg); intervalul de încredere = 15,71 (Bq/kg), pentru $\alpha = 0,05$; Valoarea medie a concentrației activității = $26,88 \pm 15,71$ (Bq/kg),
- K 40, AM este de 111,07 (Bq/kg); intervalul de încredere = 111,07 (Bq/kg), pentru $\alpha = 0,05$; Valoarea medie a concentrației activității = $111,07 \pm 68,22$ (Bq/kg),

5.2 Parametrii radiologici pentru materialele studiate

Pentru calculul următorilor indici de pericol radiologic: Activitate echivalentă a radiului (R_{eq}), Doza totală absorbită (DTA_{in}), Echivalentul dozei anuale efective totale în aer liber ($D\gamma$), Echivalentul anual de doză efectivă externă ($EDTA_{ex}$), Echivalentul anual de doză efectivă internă ($EDTA_{in}$), Indicii de pericol extern (H_{ex}) și intern (H_{in}), Indicele de activitate a radiațiilor gamma, $I\gamma$, Indicele de radiații alfa, $I\alpha$, Doza anuală echivalentă a gonadelor (AGDE), Risc de cancer în exces pe durata vieții (RCE) și Criteriu Dozei, au fost folosite ecuațiile 5.2 (§ 5.4.1), 5.3 – 5.13, (§ 5.5) iar rezultatele sunt prezentate în tabela 5.9.

Tabela 5.9. Prelucrarea statistică a concentrațiilor activității radionuclizilor K 40, Ra 226, Th 232 și U 238 și estimarea indicilor de pericol radiologic ai

| Cod. | Materialul de construcții | ⁴⁰ K | ²²⁶ Ra | ²³² Th | ²³⁸ U | I _γ | D _γ | DTA _{in} | Hex | Hin | Raeq | EDTA _{ex} | EDTA _{in} | I _a | AGDE | RCE | D _{criteria} |
|------------------------------------|---------------------------|-----------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|----------------|-------------------|-------------|---------|-------------|--------------------|--------------------|----------------|-------------|--------|-----------------------|
| | | [Bq/kg] | | | | | [nGy/h] | [mSv/y] | | [Bq/kg] | [mSv/y] | | [mSv/y] | | | | |
| G1 | Mortar | 24,4 | 28,5 | 2,4 | 16,5 | 0,115 | 15,63 | 30,81 | 0,091 | 0,168 | 33,81 | 0,019 | 0,077 | 0,143 | 105,76 | 0,0078 | 0,0457 |
| G2 | Marmură culoare deschisă | 8,1 | 2,9 | 1,0 | 1,0 | 0,017 | 2,28 | 4,42 | 0,013 | 0,021 | 4,95 | 0,003 | 0,011 | 0,015 | 15,68 | 0,0011 | 0,0067 |
| G3 | Marmură Gri | 2,3 | 4,1 | 1,0 | 1,0 | 0,019 | 2,59 | 5,06 | 0,015 | 0,027 | 5,71 | 0,003 | 0,013 | 0,021 | 17,57 | 0,0013 | 0,0077 |
| G4 | Nisip | 10,2 | 14,2 | 1,1 | 10,8 | 0,056 | 7,65 | 15,09 | 0,045 | 0,083 | 16,56 | 0,009 | 0,038 | 0,071 | 51,68 | 0,0038 | 0,0224 |
| G5 | Marmură culoare deschisă | 8,0 | 2,9 | 1,0 | 2,8 | 0,017 | 2,28 | 4,41 | 0,013 | 0,021 | 4,95 | 0,003 | 0,011 | 0,015 | 15,65 | 0,0011 | 0,0067 |
| G6 | Marmură întunecată | 8,0 | 14,3 | 1,0 | 7,7 | 0,055 | 7,54 | 14,90 | 0,044 | 0,083 | 16,35 | 0,009 | 0,037 | 0,072 | 50,88 | 0,0038 | 0,0221 |
| G7 | Piatră naturală | 27,5 | 5,2 | 2,7 | 1,7 | 0,040 | 5,18 | 9,95 | 0,030 | 0,044 | 11,18 | 0,006 | 0,025 | 0,026 | 35,99 | 0,0026 | 0,0151 |
| G8 | Piatră naturală | 8,0 | 3,9 | 1,0 | 3,5 | 0,021 | 2,74 | 5,33 | 0,016 | 0,027 | 5,95 | 0,003 | 0,013 | 0,020 | 18,74 | 0,0014 | 0,0080 |
| G9 | Piatră naturală | 27,9 | 1,0 | 2,1 | 1,0 | 0,023 | 2,89 | 5,46 | 0,017 | 0,019 | 6,15 | 0,004 | 0,014 | 0,005 | 20,63 | 0,0014 | 0,0083 |
| G10 | Marmură albă | 4,0 | 0,7 | 1,0 | 2,1 | 0,009 | 1,09 | 2,06 | 0,007 | 0,008 | 2,44 | 0,001 | 0,005 | 0,004 | 7,60 | 0,0005 | 0,0033 |
| G11 | Marmură culoare închisă | 7,0 | 3,8 | 1,0 | 2,6 | 0,020 | 2,65 | 5,16 | 0,016 | 0,026 | 5,77 | 0,003 | 0,013 | 0,019 | 18,12 | 0,0013 | 0,0078 |
| G12 | Marmură culoare deschisă | 8,0 | 4,6 | 1,0 | 6,3 | 0,023 | 3,06 | 5,97 | 0,018 | 0,030 | 6,65 | 0,004 | 0,015 | 0,023 | 20,91 | 0,0015 | 0,0090 |
| G13 | Marmură galben închis | 181,0 | 1,0 | 1,0 | 3,1 | 0,069 | 8,61 | 16,50 | 0,044 | 0,047 | 16,37 | 0,011 | 0,042 | 0,005 | 64,10 | 0,0043 | 0,0221 |
| G14 | Cărămidă | 548,0 | 38,2 | 48,3 | 30,8 | 0,552 | 69,67 | 132,11 | 0,404 | 0,507 | 149,47 | 0,085 | 0,342 | 0,191 | 492,00 | 0,0346 | 0,2015 |
| G15 | Cărămidă | 460,0 | 18,6 | 26,8 | 12,5 | 0,349 | 43,96 | 83,39 | 0,249 | 0,300 | 92,34 | 0,054 | 0,216 | 0,093 | 313,94 | 0,0219 | 0,1245 |
| G16 | Ciment alb "Hercules" | 65,8 | 14,7 | 14,9 | 12,9 | 0,145 | 18,53 | 35,18 | 0,111 | 0,151 | 41,07 | 0,023 | 0,091 | 0,074 | 128,37 | 0,0092 | 0,0554 |
| G17 | Ciment negru "Hercules" | 245,0 | 140,6 | 20,6 | 29,4 | 0,653 | 87,62 | 171,61 | 0,510 | 0,890 | 188,92 | 0,107 | 0,430 | 0,703 | 597,49 | 0,0436 | 0,2551 |
| G18 | Ciment negru "Chalips" | 356,0 | 184,5 | 24,3 | 74,2 | 0,855 | 114,76 | 224,95 | 0,666 | 1,165 | 246,66 | 0,141 | 0,563 | 0,923 | 783,46 | 0,0571 | 0,3331 |
| Valori recomandate de UNSCEAR 2000 | | | | | | | 59,00 | 84,00 | | | | 0,700 | 0,410 | | | 0,0500 | |
| Minim | | 2,3 | 0,7 | 1,0 | 1,0 | 0,008 | 1,09 | 2,06 | 0,007 | 0,008 | 2,44 | 0,001 | 0,005 | | 7,60 | 0,0005 | |
| Maxim | | 548,0 | 184,5 | 48,3 | 74,2 | 1,039 | 114,76 | 224,95 | 0,67 | 1,17 | 246,66 | 0,141 | 0,563 | | 783,46 | 0,0571 | |
| Media | | 111,1 | 26,9 | 8,5 | 12,2 | 0,169 | 22,15 | 42,91 | 0,13 | 0,20 | 47,52 | 0,027 | 0,109 | | 153,25 | 0,0110 | |
| STDEV.P | | 39,9 | 11,7 | 3,1 | 4,1 | 0,068 | 7,8 | 15,2 | 0,045 | 0,075 | 16,7 | 0,010 | 0,038 | | 53,6 | 0,0039 | 0,0226 |
| AVEDEV | | 137,2 | 31,6 | 10,3 | 11,4 | 0,202 | 25,3 | 48,9 | 0,146 | 0,229 | 54,148 | 0,031 | 0,124 | | 174,876 | 0,0126 | 0,0731 |
| GEOMEAN | | 27,9 | 7,9 | 2,8 | 5,6 | 0,050 | 8,1 | 15,6 | 0,047 | 0,071 | 17,4 | 0,010 | 0,040 | | 55,9 | 0,0040 | |
| Valoările medii | | 137,2±39,9 | | 10,3±3,1 | | 25,3±7,148,9±15,2 | | | 0,229±0,075 | | 0,031±0,01 | | 174,87±53,6 | | 0,073±0,023 | | |
| | | 31,6±11,7 | | 11,4±11,4 | | 0,146±0,045 | | | 54,148±16,7 | | 0,124±0,038 | | 0,126±0,039 | | | | |

acestora pentru cele 18 probe studiate.

5.3 Concluzii.

Activitatea specifică a radionuclizilor naturali U 238 (Ra 226), Th 232 și K 40 din probele de materiale de construcție obișnuite s-au dovedit a fi în limitele medii la nivel mondial. Activitatea echivalentă a radiului Raeq, indicele de pericol extern (Hex), indicele de pericol intern (Hin), rata de doză absorbită (D), echivalentul de doză efectivă anuală (AEDE), indicele gamma (Ig) și echivalentul de doză gonadală anuală (AGDE) au fost calculate și s-a constatat că se încadrează în valorile comune, fără pericole semnificative de radiații care decurg din utilizarea unor astfel de materiale pentru construcția clădirilor.

Expunerea la radiații a oamenilor poate crește considerabil datorită utilizării materialelor de construcție care conțin niveluri ridicate de radionuclizi naturali. Materialele care sunt utilizate în mod normal în industria construcțiilor, adică cărămizi de argilă roșie, ciment, betoane, pietrișuri și nisip conțin niveluri reglementate de radionuclizi primordiali de origine terestră (K^{40} , Ra^{226} și Th^{232}) și debitul de doză absorbită în aerul de interior. nu depășește valoarea criteriului de doză de $80 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$ sau $0,3 \text{ mSv}\cdot\text{y}^{-1}$ pentru doza efectivă individuală (Giagias E., et.al.,2017).

Conținutul de radioactivitate al materialelor de construcție este cuprins între: 2,3 și $548,0 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ pentru K 40; 0,7 și $184,5 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ pentru Ra 226; 1,0 și $48,3 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ pentru Th 232 și între 1,0 și $74,2 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ pentru U 238. Cele mai mari valori s-au obținut pentru cărămizi și cimenturi.

Doza absorbită a materialelor de construcție studiate are valori $Da < 80 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$, cu excepția cimentului negru, unde $Da > 80 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$.

Indicii de activitate ai materialelor de construcție au valori mici ($I < 0,5$) la toate probele colectate, iar numai la cărămidă și ciment negru au $I > 0,5$. Doza efectivă anuală au de asemenea valori mici ($H_E < 0,3$), cu excepția cărămidii. și ciment negru, unde $H_E > 0,3$ (Cosma .et.al., 2012; Papastefanou C, et.al., 2005)

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- Adelikhah M, Shahrokhi A, Chalupnik S, Tóth-Bodrogi E, Kovács T (2020) High level of natural ionizing radiation at a thermal bath in Dehloran, Iran. *Heliyon* 6:e04297.
- Adhab Hiba Ghemeedh, Shaymaa Awad Kadhim alshebly, Dr. Emad Kareem Alsabari. **Assessment excess lifetime cancer risk of soils samples in Maysan neighborhood adjacent to the middle Euphrates cancer center in Najaf / Iraq.** 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 928 (2020) 072100, doi:10.1088/1757-899X/928/7/072100.
- Adyasari et.al., 2023, Radon-222 as a groundwater discharge tracer to surface waters, *Earth Sci. Rev.*, № 238.

- Ali, M. Y., Hanfiah, M. M., & Khan, M. F. (2018). Potential factors that impact the radon level and the prediction of ambient dose equivalent rates of indoor microenvironments. *Science of the Total Environment*, 626, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.080>
- Al-Khateeb, H. M., Nuseirat, M., Aljarrah, K., Ali, M., Al-Akhras, H., & Bani-Salameh, H. (2017). Seasonal variation of indoor radon concentration in a desert climate. *Applied Radiation and Isotopes*, 130, 49–53. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2017.08.017>.
- Annunziata F. Michael; Radioactivity: Introduction and History, From the Quantum to Quarks, 2016, New; Hardcover. Condition: New/New; ISBN 10: 0444634894 Elsevier).
- Baeza, A., García-Paniagua, J., Guillén, J., & Montalbán, B. (2018). Influence of architectural style on indoor radon concentration in a radon prone area: A case study. *Science of the Total Environment*, 610-611, 258–266. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.056>
- Baias P.F., W. Hofmann, R. Winkler-Heil, C. Cosma, O.G. Dului, Radiation Protection Dosimetry **138** (2), 111-118 (2009).
- Begy R., C. F. Savin, D. K. Süle, M. Nuhanovic, **Evanghelos Giagias**, T. Kovács, 2022, Radiological Investigation of Natural Carbonated Spring Waters from Eastern Carpathians, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 331, 1439-1450 (2022).<https://doi.org/10.1007/s10967-022-08195-3>.
- Begy, IR. Cs. Sz. Kelemen, C. Savin, **Giagias Evangelos**, D. Ristoiu, 2020. Post-volcanic activities reflected in radionuclide content of spring waters from Romania, VII. Terrestrial Radioisotopes In Environment, International Conference on Environmental Protection, Ed. Edited by: Tibor Kovács, ISBN 978-615-81632-0-0, DOI 10.18428/TREICEP-2020.
- Behnam Zehtab, Khaleel. I. Noor, Hayder. H. Moula; Review on Concepts of Zero Energy Building, Design Engineering issue 9, 12354-12366, February 2022.
- Bena Eleonora, 2024, Giancarlo Ciotoli, Eric Petermann, Peter Bossew, Livio Ruggiero, Luca Verdi, Paul Huber, Federico Mori, Claudio Mazzoli, Raffaele Sassi, A new perspective in radon risk assessment: Mapping the geological hazard as a first step to define the collective radon risk exposure, *Science of the Total Environment* 912 (2024) 169569, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169569>.
- Bena, E., Ciotoli, G., Ruggiero, L., Coletti, C., Bossew, P., Massironi, M., Mazzoli, C., Mair, V., Morelli, C., Galgaro, A., Morozzi, P., Tositti, L., Sassi, R., 2022. Evaluation of tectonically enhanced radon in fault zones by quantification of the radon activity index. *Sci. Rep.* 12, 21586 <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26124-y> .
- Boronkay, K., Stoumpos, G., Benissi, M., Rovolis, G., Korkaris, K., Papastamatiou, D., Dimitriou, G., Chrysikopoulou, A., Miliotis, I., Giakoumis, A., Novack, M., & Marinos, P. (2021). Geological map of Athens Metropolitan Area, Attica (Greece): A review based on Athens Metro ground investigation data. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 57(1), 68–126. <https://doi.org/10.12681/bgsg.26895>.
- Bossew P., Cinelli G., Tollefsen T., De Cort M., 2017. The Geogenic Radon Hazard Index – Another Attempt. *IWEANR (Itl. Workshop on the European Atlas of Natural Radiation)*. November 2017. <https://remon.jrc.ec.europa.eu/About/Atlas-of-Natural-Radiation/Geogenic-radon/Geogenicradon> (accessed June 6, 2018).
- Bossew, P., 2015. Mapping the Geogenic Radon Potential and Estimation of Radon Prone Areas in Germany. *Radiation Emergency Medicine* 4 (2), 13–20.
- Bossew, P., Cinelli, G., Ciotoli, C., Crowley, Q.G., De Cort, M., Medina, J.E., Gruber, V., Petermann, E., Tollefsen, T., 2020. Development of a geogenic radon hazard index – concept, history, experiences. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 17 (11), 4134. <https://doi.org/10.3390/ijerph17114134>.
- Bossew, P., Cinelli, G., Ciotoli, G., Crowley, Q. G., De Cort, M., Medina, J. E., Gruber, V., Petermann, E., & Tollefsen, T. (2020). Development of a geogenic radon hazard index - concept, history, experiences. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11), 1–23. <https://doi.org/10.3390/ijerph17114134> .
- Bouder, F.; Perko, T.; Lofstedt, R.; Renn, O.; Rossmann, C.; Hevey, D.; Siegrist, M.; Ringer, W.; Pözl-Viol, C.; Dowdall, A.; et al. (2021) The Potsdam radon communication manifesto. *J. Risk Res.* **2021**, 24, 909–912.
- Building materials, accessed 28.09.2023, <https://nucleus.iaea.org/sites/orpnet/training/norm/Shared%20Documents/Building%20Materials.pdf>.
- Burghel et al., 2019, The first large-scale mapping of radon concentration in soil gas and water in Romania, *Sci. Total Environ.*, № 669, c. 887 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.342>.

- Calculating GSD, 2023, <https://www.mrexcel.com/board/threads/calculating-geometric-standard-deviation-with-range-including-blanks.1211206/>, accessed 23.09.2023
- Cinelli, G., Brattich, E., Coletti, C., De Ingeniis, V., Mazzoli, C., Mostacci, D., ... Tositti, L. (2020). Terrestrial gamma dose rate mapping (Eugane Hills, Italy): comparison between field measurements and HPGe gamma spectrometric data. *Efecte ale radiațiilor și defecte în solide*, 175 (1–2), 54–67. <https://doi.org/10.1080/10420150.2020.1718131>.
- Cinelli, G.; Tollefsen, T.; Bossew, P.; Gruber, V.; Bogucarskis, K.; De Felice, L.; De Cort, M. Digital Version of the European Atlas of Natural Radiation. *J. Environ. Radioact.* **2018**. doi:10.1016/j.jenvrad.2018.02.008.
- Ciotoli G, Voltaggio M, Tuccimei P, Soligo M, Pasculli A, Beaubien SE, Bigi S (2017) Geographically weighted regression and geostatistical techniques to construct the geogenic radon potential map of the Lazio region: A methodological proposal for the European Atlas of Natural Radiation. *J. Environ. Radioact.* 166, 355–375.
- Coleman, M.J., Schneider, D.A., Grasmann, B., Soukis, K., Lozios, S., Hollinetz, M.S., 2020. Lateral Termination of a Cycladic-Style Detachment System (Hymittos, Greece). *Tectonics*, 39, 1–30. <https://doi.org/10.1029/2020TC006128>.
- Commission Recommendation (EU). 2019/786 of 8 May 2019 on building renovation, C/2019/3352. Official Journal of the European Union. L127/34. Retrieved October 15, 2020, from Europa.eu website: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019H0786&from=GA> (2019).
- Cosma C, Ristoiu D, Poffijn A, Meesen G. Radon in various environmental samples in the Herculane spa, Cerna valley, Romania. *Environ Int* (1996) **22**(Suppl 1):S383–8. doi:10.1016/S0160-4120(96)00136-5.
- Cosma C., A. Poffijn, D. Ristoiu, G. Meesen, Some Aspects of Radon Radioactivity in Herculane Spa (Romania), *Environment International*, 24, 1 - 4 (1996).
- Cosma C., Dicu T., Dinu A., Begy R. (2009b), Radon and lung cancer, Ed. Quantum, Cluj-Napoca, ISBN 978-973-88835-2-9, 166 pp.
- Cosma C., Szacsvai K., Dinu A., Ciorba D., Dicu T., Suci L., 2009a Preliminary integrated indoor radon measurements in Transilvania (Romania). *Isotopes in Environmental and Health Studies* 45(2):1–10.
- Cosma Constantin, Alexandra Cucuș (Dinu), Botond Papp, Robert Begy, Alida Gabor, Nicoleta Bican-Brișan & Lucian Beșuțiu, Radon Implication in Life and Earth Science: Băița-Ștei Area and Peceneaga-Camena Fault (Romania), *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, May 2014, Vol. 9, No. 2, p. 15 - 21.
- Cosma Constantin, O. A. Dumitru, Dan Constantin Niță, Robert Begy, Alexandra Cucuș, Andra Iurian, Mircea Moldovan, Botond Papp, Tiberius Dicu, Betty Burgehele, Liviu Suci, Carlos Sainz, **Evangelos Giagias** 2012. Preliminary results of natural radioactivity measurements in some building materials from uranium mine area Băița, Romania by gamma spectrometry. *ECOTERRA - Journal of Environmental Research and Protection* 2012, Vol. 12, Nr.33.
- Cosma, C., Cucuș (Dinu), A., Dicu, T., 2012. Spre prima hartă a concentrației rezidențiale de radon din România. *Radioprotecție Dozimetrie*.
- Cosma, C., Cucuș, A., Papp, B., Begy, R., Dicu, T., Moldovan, M., et al. (2013). Radon measurements and radon remediation in Băița-Ștei prone area. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 8(2), 191–199.
- Cosma, C., Cucuș-Dinu, A., Papp, B., Begy, R., Sainz, C., *Soil and building material as main sources of indoor radon in Băița-Ștei radon prone area* (Romania), 2013, *Journal of Environmental Radioactivity*, 2013, 116, 174-179. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2012.09.006.
- Cosma, C., Dicu, T., Dinu, A., Begy, R. (Eds.), *Radon and lung cancer*, Editura Quantum, Cluj-Napoca, ISBN 978-973-88835-2-9, 166 pp, 2009.
- Cucuș (Dinu) A., Cosma C., Dicu T., Begy R., Moldovan M., Papp B., Niță D., Burgehele B., Sainz C., 2012 Thorough investigations on indoor radon in Băița radon-prone area (Romania). *Science of the Total Environment* 431(1):78-83.
- Cucos (Dinu) A., S. Vasiliniuc, A. Timar-Gabor, P. Manea, C. Cosma, 2014, *Contribution of radon dose to the patient exposure in the mofette of Covasna sanatorium, Romania, August 2014* [Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences](https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2014.08.006) Vol. 9, No. 3(3):69-74.

- Cucoş (Dinu), A., Dicu, T. & Cosma, C. 2015b, Indoor radon exposure in energy-efficient houses from Romania. *Rom. J. Phys.* **60**, 1574–1580 (2015).
- Cucoş (Dinu), E. **Giagias**, C. Cosma, 2015a, Indoor radon exposure in energy-efficient houses from Romania, ENVIRA 2015, THESSALONIKI GREECE, 21-25 Septembrie 2015.
- Deligiannakis, G., Papanikolaou, I.D., Roberts, G., 2018. Fault specific GIS based seismic hazard maps for the Attica region, Greece. *Geomorphology*, 306, 264–282. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.12.005>.
- Dicu T., B. D. Burghele, M. Botoş, A. Cucuş, G. Dobrei, Ş. Florică, Ş. Grecu, A. Lupulescu, I. Papl, K. Szacsvai, A. Ţenter & C. Sainz, 2021, A new approach to radon temporal correction factor based on active environmental monitoring devices, *Scientific Reports* | (2021) 11:9925, www.nature.com/scientificreports <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88904-2>.
- Dinu Alexandra**, Dicu T., Cosma C., Biological effects of ionising radiations- Radioprotection, Environment & Progress 6/2006, 13-15 octombrie 2005 Agnita, Vol. 6/2006, p. 149-156, 2006.
- Directiva 2010/31/UE a Parlamentului European și a Consiliului, 19.05.2010, privind performanța energetică a clădirilor.
- Directive (EU) 2018/844 on the energy performance of buildings of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018.
- Dorrah, DH, Marzouk, M.: Integrated multi-objective optimization and agent-based building occupancy modeling for space planning. *Journal of Building Engineering* 34, 101902 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101902>.
- Du, L. *et al.* Effects of energy retrofits on Indoor Air Quality in multifamily buildings. *Indoor Air* **29**, 686–697 (2019).
- Florică, Ş., Burghelo, B.-D., Bican-Brişan, N., Begy, R., Codrea, V., Cucuş, A., Catalina, T., Dicu, T., Dobrei, G., Istrate, A., Lupulescu, A., Moldovan, M., Niţă, D., Papp, B., Papp, I., Szacsvai, K., Ţenter, A., Sferle, T., & Sainz, C. (2020). The path from geology to indoor radon. *Environmental Geochemistry and Health*, 42(9), 2655–2665. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00496-z>.
- Ganas, A.; Tsironi, V.; Kollia, E.; Delagas, M.; Tsimi, C.; Oikonomou, A. 2018, Recent upgrades of the NOA database of active faults in Greece (NOAFAULTs). In Proceedings of the 19th General Assembly of WEGENER, Grenoble, France, 10–13 September 2018.
- Georgiou E. K. Natalles, M. Molfetas, A. Athanassiadis, C Proukakis 1986, Radon measurement in Greece, *Nucl. Med.* 25, A136.
- Geysmans, R.; Perko, T.; Keser, M.; Pözl-Viol, C.; Fojtíková, I.; Mihók, P. Cure or Carcinogen? A Framing Analysis of European Radon Spa Websites. *Int. J. Public Health* **2022**, 67, 1604559.
- Giagias** E. C. Cosma, D. Marcu, 2015a, Radon indoor concentration and its seasonal variation in Athens, Greece, ENVIRA 2015, Tesalonic Greece.
- Giagias** E., D. Burghele, C. Cosma, (2015b), Seasonal Variation Of Indoor Radon In Dwellings From Athens, Greece, *Rom. Journ. Phys.*, Vol. 60, Nos. 9–10, P. 1581–1588, Bucharest, 2015.
- Giagias** E., Papp B., Ristoiu D., Cosma C., Simpozionul național cu participare internațională Environment & Progress 2017, 15 noiembrie 2017, Cluj-Napoca, România.
- Giagias Evangelos**, Botond PAPP, Dumitru RISTOIU, Constantin COSMA, (2017). Radioactivity of building materials from Greece, *Lucrare în Procceding, SIMPOZIONUL NATIONAL CU PARTICIPARE INTERNAȚIONALA ENVIRONMENT & PROGRESS 10 NOIEMBRIE 2017, CLUJ-NAPOCA, ROMANIA.*
- Giagias Evangelos**, 2013, New two-storey house with basement, ground floor garage & pool, Energy Rating: A+, project New Epidavros, 113 Themistokleous Str. 184 52 Nice, Athens GB_white, 2013.
- Giagias Evangelos**, Botond PAPP, Dumitru RISTOIU, Constantin COSMA, 2017. Radioactivity of construction materials commonly used in Greece, Poster, *SIMPOZIONUL NATIONAL CU PARTICIPARE INTERNAȚIONALA ENVIRONMENT & PROGRESS 10 NOIEMBRIE 2017, CLUJ-NAPOCA, ROMANIA.*
- Giagias Evangelos**, D. Burghele, C. Cosma, 2015, Seasonal variation of indoor radon in dwellings from Athens, Greece, *Rom. Journ. Phys.*, Vol. 60, Nos. 9–10, P. 1581–1588, Bucharest, 2015.
- Giagias Evangelos**, C. Cosma and D. Marcu, 2015, Radon Indoor Concentration and its Seasonal Variation in Athens, Greece, *In Conference proceedings. International Conference on environmental Radioactivity (ENVIRA)*

2015 (pp. 205).

- Giraldo-Osorio et.al., 2021, Residential radon in Manizales, Colombia: results of a pilot study, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, № 18, c. 1228 <https://doi.org/10.3390/ijerph18031228>.
- Gruber, V., Baumann, S., Wurm, G., Ringer, W., & Alber, O. (2021). The new Austrian indoor radon survey (ÖNRAP 2, 2013–2019): Design, implementation, results. *Journal of Environmental Radioactivity*, 233(106618), 106618–106619. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106618>IAEA.
- Hazou Eyakifama, Tchilabalo E. Patchali, Assessment of radiological hazards in the phosphate mining area of Kpogamé, Togo, *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, Volume 3, June 2021, 100077.
- ICRP, (2018), Summary of ICRP Recommendations on Radon; 2018.
- IEA 2017, Insights Series 2017, Renewable Energy for Industry From green energy to green materials and fuels, Ed. Philbert Cedric, www.iea.org.
- IEA. World Energy Outlook 2021 <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021> (International Energy Agency, 2021).
- Ioannides K., D. Patiris and C. Papachristodoulou, Indoor radon concentrations in workplaces and dwellings in North-Western Greece, *Radioprotection* 44, 165-169 (2009).
- IPCC AR6,2023: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)). IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001.
- Khan I.U., Z. Qin, T. Xie, Z. Bin, H. Li, W. Sun, E. Lewis. Evaluation of health hazards from radionuclides in soil and rocks of North Waziristan, Pakistan. *International Journal of Radiation Research*, April 2020, Volume 18, No 2, 243-253.
- Kinga Hening 2015. Utilizarea detectorilor de urme în studiul Radonului: Expunere rezidențială și instituțională, Teză de doctorat, Universitatea „BABEȘ-BOLYAI” Cluj-Napoca Facultatea de Știința Mediului, 2015.
- Kolovou Maria, Constantinos Potiriadis, Nikolaos Kallithrakas-Kontos, A study on the correlation between indoor radon concentrations and the construction year of the dwellings, *The European Physical Journal Special Topics*. May 2023, *Eur. Phys. J. Spec. Top.* (2023) 232:1625–1629, <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-023-00888-4>.
- Kritidis P., V. Kamenopoulou, N. Kallithrakas-Kontos, Indoor radon concentrations in Athens determined with an optimized etched track detector technique, *Radiation Protection Dosimetry*, Volume 55, Number 2, September 1, 1994, pages 149–152.
- Kumar et.al., 2022, Radon exhalation potential and natural radioactivity in soil collected from the surrounding area of a thermal power plant, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, № 331, c. 2597.
- Lewis, S. L. & Maslin, M. A. (2015) Defining the Anthropocene, *Nature*, 519, 171-180.
- Marinos, G., Katsikatsos, G., Mirkou - Peripopoulou, R.M., 1974. The Athens' Schists Formation, II. Stratigraphy and Structure. *Annales Géologiques des Pays Helléniques*, 25, 439–444 (in Greek).
- Meyer M., Impact of constructional energy-saving measures on radon levels indoors, *Indoor Air* 29 (4) (2019) 680–685.
- NetZero Energy Commercial Building Initiative. (2017). U.S. Department of Energy. Retrieved from https://www1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/alliances/cbi_fs.pdf.
- Neznal, M., Neznal, M., Malotín, M., Barnet, I., Mikšová, J., *The new method for assessing the radon risk of building sites*, Special Papers No.16. Czech Geol. Survey. Praha, 2004.
- Ngarambe, J.; Oh, J.W.; Su, M.A.; Santamouris, M.; Yun, G.Y. Influences of wind speed, sky conditions, land use and land cover characteristics on the magnitude of the urban heat island in Seoul: An exploratory analysis. *Sustain. Cities Soc.* 2021, 71, 102953.
- Nikolopoulos D. Anna Louizi ,Virginia Koukoulioub, Athina Serefoglou ,Evangelos Georgiou, Konstantinos Ntalles, Charalambos Proukakis. 2002, Radon survey in Greece—risk assesment, *J. Environ. Radioactivity* 63 (2002) 173–186. PII: S02 65 -931X(02)00026-7 Elsevier Science Ltd, www.elsevier.com/locate/jenvrad.
- Nikolopoulos D., E. Vlamakis, N. Chatzisavvas, P. H.Yannakopoulos, X. Argyriou1, E. Petraki, S. Kottou, T. Sevvos, N. Temenos, Y. Chaldeos, S. Filtisakos, N. Gorgolis, S. Potozi, Koulogliotis, A. Zisos. 2013, Study of

- the response of open CR-39 detector to radon and progeny by Monte Carlo simulation with SRIM 2013. International Scientific Conference eRA-8, 2013 ISSN-1791-1133 1.
- Nikolopoulos, D., Maddison, S., Louizi, A., & Proukakis C, 1997. Radon survey in Kriti-Greece. Design, implementation and results. In Proceedings of the European Conference on Protection against radon at home and at work. Praha, 156–159.
- ORDINUL nr. 2.223, 13 10. 2023, REGLEMENTARE TEHNICĂ din 13 octombrie 2023, RTC 7 - 2022, Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 973/26.X. 2023.
- Ordinul nr.152, 27.07.2023, Metodologia pentru determinarea concentrației de radon în aerul din interiorul clădirilor și de la locurile de muncă, Monitorul Oficial al României, Partea I, Nr. 729/8.VIII.2023, 3-14.
- Pampuri, L., Caputo, P. & Valsangiacomo, C. Effects of buildings' refurbishment on indoor air quality. Results of a wide survey on radon concentrations before and after energy retrofit interventions. *Sustain. Cities Soc.* **42**, 100–106 (2018).
- Papaefthymiou H., Maurodis A., Kritidis P., 1999, Indoor radon measurements in Patras, Greece, with solid state nuclear track detectors, *Radon in the Living Environment*: 385-390.
- Papanikolaou, D., Lozios, S., Soukis, K., Skourtsos, Em., 2004. The geological structure of the allochthonous "Athens Schists". *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 36, 1550–1559 (in Greek).
- Papanikolaou, D., Papanikolaou, I., 2007. Geological, geomorphological and tectonic structure of NE Attica and seismic hazard implications for the northern edge of the Athens plain. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 40, 425–438.
- Papanikolaou, D.; Bargathi, H.; Dabovski, C.; Dimitriu, R.; El-Hawat, A.; Ioane, D.; Kranis, H.; Obeidi, A.; Oaie, G.; Seghedi, A.; et al. (2015), TRANSMED Transect VII: East European Craton–Scythian-Platform–Dobrogea–Balkanides–Rhodope-Massif–Hellenides–East Mediterranean–Cyrenaica. 2015.
- Papanikolaou, I.D., Roberts, G., Deligiannakis G., Sakellariou, A. and Vassilakis E., 2013. The Sparta Fault, Southern Greece: From segmentation and tectonic geomorphology to seismic hazard mapping and time dependent probabilities, *Tectonophysics*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2012.08.031>.
- Papastefanou C., Stoulos S., Manolopoulou M., 2005, The radioactivity of building materials.J. *Radioanal.Nucl.Chem.*, 266 (3), p.367-372.
- Papazachos, B.C., Comninakis, P.E., Karakaisis, G.F., Karakostas, B.G., Papaioannou, C.A., Papazachos, C.B. and Scordilis, E.M., 2000. A catalogue of earthquakes in Greece and surrounding area for the period 550BC-1999, Publication of the Geophysical Laboratory, University of Thessaloniki.
- Papp, B., Cosma, C., Moldovan, M., Niță, D.C., (2009a), Radon potential in soil and radon risk estimation. *ECO TERRA*, 22-23, p.42-44, (ISSN 1584-7071).
- Papp, B., Cosma, C., Niță, D.C., Moldovan, M., (2009b), Soil Radon Measurements in Cluj-Napoca (Romania). V. Magyar Radon Fórum, Pannon Egyetem Kiadó, Veszprém, p.55-60, (ISBN: 978-963-9696-78-5).
- Papp, B., Szakacs, A., Neda, T., Papp, Sz., Cosma, C., (2010), *Soil radon and thoron studies near the mofettes at Harghita Bai (Romania) and their relation to the field location of fault zones*. *Geofluids*, **10** (4), p.586–593. (I.F: 1,268 / 2010).**
- Papp, Botond ; Cosma, Constantin ; Cucos (Dinu), Alexandra ; Suci, Liviu ; Dumitru, Oana Alexandra ; Banciu, Gheorghe ; Sainz, Carlos, Implementation of radon remediation techniques in houses in the uranium area of Baita-Steii (Romania), International Symposium "Environment and Industry" SIMI 2013, Volume II. <http://hdl.handle.net/123456789/406>.
- Poffijn A., M. Tirmarche, L. Kreienbrock, P. Kayser, S. Darby, Radon și cancer pulmonar: protocol și proceduri ale studiilor multicentrice în regiunea Ardennes-Eifel, Bretania și regiunea masivului central, *Dozimetrie de protecție împotriva radiațiilor*, volumul 45, numărul 1-4, 1 decembrie 1992, paginile 651–656, <https://doi.org/10.1093/rpd/45.1-4.651>.
- Radon Map, Grecia. <https://eeae.gr/en/radon-map> (accesat 22.07.2023).
- Rafferty 2023, What's the Difference Between Global Warming and Climate Change? Rafferty John P., Ed. Encyclopaedia Britannica, <https://www.britannica.com/story/whats-the-difference-between-global-warming-and-climate-change>, accesat 20.09.2023.

- Ruddiman, W.F. (2001, 2008, 2014). Earth's Climate: past and future, Third edition, ISBN-13: 978-1-4292-5525-7, W.H. Freeman & Sons. New York, NY.3., www.whfreeman.com.
- Sahoo et.al., 2020, Identification of earthquake precursors in soil radon-222 data of Kutch, Gujarat, India using empirical mode decomposition-based Hilbert Huang Transform, J. Environ. Radioact., № 222 <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106353>.
- Sainz C., Dinu A., Dicu T., Szacsvai K., Quindós L. S., Cosma C., 2009 Comparative risk assessment of residential radon exposures in two radon-prone areas, Stei (Romania) and Torrelodones (Spain). *Sci Total Environ* 407(15):4452-4460.
- Sameh H. Negm, Wael M. El Maadway, Amal S. Nasr. Geochemical behavior and radiological hazards assessment of phosphorites at the eastern part of the economic phosphate-belt, Egypt. *Journal of Research in Environmental and Earth Sciences* Volume 9 ~ Issue 2 (2023) pp: 01-17 ISSN(Online) :2348-2532.
- Savin Codrin - Savian, **Evangelos Giagias**, David Karoly Sule, Robert-Csaba Begy. A new approach for determination of gross α/β activity in water samples by integrating Liquid Scintillation Counting with beta spectroscopy. International Conference on radiation in various field of research, 140. June 13-17, 2022, Herceg Novi, Montenegro. <https://doi.org/rad.spr.abstract.book.2022.28.14>.
- Schellnhuber HJ, Rahmstorf S, Winkelmann R (2016) Why the right climate target was agreed in Paris. *Nat Clim Change* 6:649–653.
- Schmid, S.M., Fügenschuh, B., Kounov, A., Maţenco, L., Nievergelt, P., Oberhänsli, R., Pleuger, J., Schefer, S., Schuster, R., Tomljenović, B., Ustaszowski, K., van Hinsbergen, D.J.J., 2020. Tectonic units of the Alpine collision zone between Eastern Alps and Western Turkey. *Gondwana Research*, 78, 308–374. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2019.07.005>.
- Scotese Christopher, Benjamin Mills, Douwe van der Meer, (2021) Phanerozoic Paleotemperatures: The Earth's Changing Climate during the Last 540 million years. *Earth-Science Reviews*, 215. 103503. ISSN 0012-8252.
- Shahrokhi A, Adelikhah M, Chalupnik S, Kocsis E, Toth-Bodrogi E, Kovács T (2020) Radioactivity of building materials in Mahallat Iran – an area exposed to a high level of natural background radiation – attenuation of external radiation doses. *Mater Constr* 70;-233.
- Shahrokhi A, Adelikhah M, Chalupnik S, Kovács T (2021) Multivariate statistical approach on distribution of natural and anthropogenic radionuclides and associated radiation indices along the north-western coastline of Aegean Sea Greece. *Mar Pollut Bull* 163:112009.
- Smit H.A.P. & J. Bezuidenhout, 30 Aug 2023), Geology and climate: a novel method to estimate indoor radon exposure risk in South Africa, *SOUTH AFRICAN GEOGRAPHICAL JOURNAL*, August 2023, <https://doi.org/10.1080/03736245.2023.2253197>, <https://www.tandfonline.com/loi/rsag20>.
- Smit, H. A. P., & Bezuidenhout, J. (2021). Influence of climate and weather on the mitigation of radon exposure in two towns of the Western Cape, South Africa. *Journal of Radiation Research & Applied Sciences*, 14(1), 236–245. <https://doi.org/10.1080/16878507.2021.1940750>.
- Smith, Peter F., *Architecture in a Climate of Change, A guide to sustainable design*, 295 pp., First published 2001, Second edition 2005, Architectural Press, An imprint of Elsevier.
- Steffen W, Broadgate W, Deutsch L, Gaffney O, Ludwig C (2015) The trajectory of the Anthropocene: The great acceleration. *Anthropocene Rev* 2:81–98.
- Steffen Will,b,1,(2018) Johan Rockströma, Katherine Richardsonc, Timothy M. Lentond, Carl Folkea,E., Diana Livermanf, Colin P. Summerhayesg, Anthony D. Barnoskyh, Sarah E. Cornellia, Michel Crucifixi,J., Jonathan F. Dongesa,K., Ingo Fetzeri, Steven J. Ladea,B., Marten K.Schefferl, Ricarda Winkelmannk,M, and Hans Joachim Schellnhuberi,K.L.M., Trajectories of the Earth System in the Anthropocene, Edited by William C. Clark, Harvard University, Cambridge, MA, and approved July 6, 2018 (received for review June 19, 2018., Proceedings of the National Academy of Sciences -PNAS, August 14, 2018, vol. 115, no. 33, 8252–8259; DOI:10.1073/pnas.1810141115. (This open access article is distributed under Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives License 4.0 (CC BY-NC-ND)., information online at www.pnas.org/lookup/suppl/doi:10.1073/pnas.1810141115/-/DCSupplemental . Published online August 6, 2018.
- Sukanya et.al., 2023, Application of radon (^{222}Rn) as an environmental tracer in hydrogeological and geological investigations: an overview, *Chemosphere*, № 303, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135141>.

- Truță-Popa L. A., Dinu A., Dicu T., Szacsvai K., Cosma C., Hofmann W., 2010 Preliminary lung cancer risk assessment of exposure to radon progeny for Transylvania, Romania. *Health Physics* 99(3):301-307.
- Tsodoulos, I.M., Koukouvelas, I.K., Pavlides, S., 2007. Tectonic geomorphology of the easternmost extension of the Gulf of Corinth (Beotia, Central Greece). *Tectonophysics*, 453, 211–232, doi: 10.1016/j.tecto.2007.06.015.
- Tzanis A., A. Efstathiou, S. Chailas, E. Lagios, M. Stamatakis, 2020, The Methana Volcano – Geothermal Resource, Greece, and its relationship to regional tectonics, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 404, (2020). <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2020.107035>.
- UNEP 2021, Emissions Gap Report 2021: The Heat is On – A World of Climate Promises Not Yet Delivered <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2021> (United Nations Environment Programme, 2021).
- UNSCEAR 2020/2021 REPORT VOLUME II: "Sources, Effects and Risk of Ionizing Radiation", Annex B: Levels and effects of radiation exposure due to the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: implications of information published since the UNSCEAR 2013 Report, 2022.
- UNSCEAR 2020/2021 REPORT VOLUME IV: "Sources, Effects and Risk of Ionizing Radiation", Annex D - Evaluation of occupational exposure to ionizing radiation, 2022.
- UYANIK N. Ayten 2022. An Alternative Approach to the Excess Lifetime Cancer Risk and Prediction of Radiological and Cancer Risks Caused by Terrestrial Radiation, Case of Isparta/Turkey. August 19th, 2022, <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1929990/v1>.
- Vogiannis, 2004, E., Nikolopoulos, D., Louizi, A., Halvadakis, C.P., 2004. Radon variations during treatment in thermal spas of Lesbos Island (Greece). *J. Environ. Radioactiv.* 75, 159-170.
- Vogth (Tecșa) Viorica, Bety Burghele, Alexandra Cucuș, Dorin Iancu, Constantin Cosma, Ionut T. Moraru, **Evanghelos Giagias**, 2015. Preliminary results regarding the risk of lung cancer caused by radon exposure in Alba Iulia and surroundings. *ECOTERRA- Journal of Environmental Research and Protection* 2015, Vol. 12, Nr.14 (pp. 13-18).
- WHO (World Health Organization). *WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective*. WHO ISBN 978 92 4 154767 3. 2009. http://www.who.int/ionizing_radiation/env/radon/en/index1.html (accessed June 6, 2018).
- World Life Expectance, (2020), <https://www.worldlifeexpectancy.com/ro/greece-life-expectancy> 2020) accesat 05.03. 2023.
- Xie, D., Wu, Y., Wang, C., Yu, C. W., Tian, L., & Wang, H. (2021). A study on the three-dimensional unsteady state of indoor radon diffusion under different ventilation conditions. *Sustainable Cities and Society*, 66, 102599. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102599>.
- Xue et.al., 2021, Bedrock radon concentration in the Qingdao urban planning area and its bearing on lithology, *Marine Geol. Front.*, № 37, c. 10.
- Zhang Shengrong, Doudou Jin, Huijun Jin, Chunhai Li, Hu Zhang, Xiaoyin Jin, Jian Cui, 2024, Potential radon risk in permafrost regions of the Northern Hemisphere under climate change: A review, [Earth-Science Reviews Volume 250](https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2024.104684), March 2024, 104684.
- Zhou et.al., 2017, Degassing of CO₂, CH₄, Rn and Hg in the rupture zones produced by Wenchuan M. 8.0 earthquake, *Acta Petrol. Sin.*, № 33, c. 291.
- Zhuo, 2021, Estimating the amount and distribution of radon flux density from the soil surface in China, *J. Environ. Radioact.*, № 99, c. 1143, <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2008.01.011>