



UNIVERSITATEA POLITEHNICA  
BUCUREȘTI  
FACULTATEA DE ENERGETICĂ  
ȘCOALA DOCTORALĂ  
ENERGETICĂ



## REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

# STUDIUL CONCENTRAȚIEI DE RADON ȘI METODE DE REDUCERE A ACESTEIA ÎN SPAȚII ÎNCHISE

Doctorand  
Ing. **Marina Ionela CUCU**

Conducător de doctorat  
Prof. Dr. Ing. **Daniel DUPLEAC**

BUCUREȘTI  
2022

**UNIVERSITATEA POLITEHNICA BUCUREȘTI**  
**FACULTATEA DE ENERGETICĂ**  
**ȘCOALA DOCTORALĂ DE INGINERIE ENERGETICĂ**

**STUDIUL CONCENTRAȚIEI DE RADON ȘI METODE  
DE REDUCERE A ACESTEIA ÎN SPAȚII ÎNCHISE**

**COMISIA DE DOCTORAT**

<b>Președinte</b>	<b>prof. dr. ing. CRISTIAN DINCĂ</b>	<b>de la</b>	<b>Universitatea POLITEHNICA București</b>
<b>Conducător de doctorat</b>	<b>prof. dr. ing. DANIEL DUPLAC</b>	<b>de la</b>	<b>Universitatea POLITEHNICA București</b>
<b>Membru</b>	<b>prof. dr. ing. GHEORGHE LĂZĂROIU</b>	<b>de la</b>	<b>Universitatea POLITEHNICA București</b>
<b>Membru</b>	<b>CS I dr. ing. ALEXANDRA LAURA CUCOȘ DINU</b>	<b>de la</b>	<b>Universitatea BABEȘ-BOLYAI Cluj-Napoca</b>
<b>Membru</b>	<b>conf. dr. ing. TIBERIU CATALINA</b>	<b>de la</b>	<b>Universitatea TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII București</b>

**Doctorand:**

**Ing. Marina Ionela CUCU**

## Abstract

Radonul este un gaz radioactiv, invizibil, care se află peste tot în jurul nostru, ca parte a aerului pe care îl respirăm. Radonul degajat din sol pătrunde în interiorul clădirilor prin crăpăturile și golurile din fundație și prin sistemul de alimentare cu apă. Astfel spus, gazul radioactiv Radon se găsește pretutindeni, în toate mediile posibile: sol, apă, aer. Radonul este declarat carcinogen și de curând a fost declarat numărul 1 în cazul cancerelor pulmonare la nefumători. Măsurătorile de radon se efectuează cu detectori de mai multe tipologii (pasivi/activi).

Legislația actuală în vigoare în România recunoaște măsurătorile efectuate cu detectori pasivi. România, ca stat membru al Uniunii Europene, are obligația de a lua o serie de măsuri de protecție împotriva expunerii la radonul din interiorul locuințelor și la locul de muncă. Atât persoanele fizice, cât și angajatorii au obligația de a lua o serie de măsuri ce privesc protecția populației și a personalului angajat împotriva expunerii acestora la concentrații ridicate de radon în interiorul clădirilor. La baza acestor cerințe se află Directiva 59/2013.

Teza prezintă în primul capitol stadiul actual al problematicii radonului (istoric, importanță, impact), cel de-al doilea capitol prezintă cadrul legislativ pentru problematica radonului. Capitolele 3 și 4 prezintă atât mijloace de determinare a concentrațiilor de radon în diverse medii, cât și rezultatele măsurătorilor efectuate în locuințe proprii de tip apartament, cât și case vechi, din mediu rural din diverse părți ale țării, cât și la locul de muncă. Capitolele 5 și 6 structurează armonios elemente privind evaluarea impactului concentrației de radon asupra organismului uman prin calculul dozei induse de aceasta, cât și protecția împotriva expunerii cauzate de radonul din interiorul clădirilor/spațiilor închise, cât și a radiației gama provenită din materialele de construcții, metode de prevenire și atenuare. Sunt prezentate valorile măsurătorilor din locuințe care au folosit la renovări materiale variate de construcții. Se prezintă de asemenea și rezultatele măsurătorilor concentrației de radon în cazul folosirii unei membrane anti-radon în construcția unei case versus lipsa acesteia.

**Cuvinte cheie:** Uraniu, Radium, Radon, apă, aer, sol, lanț de dezintegrare, concentrație de Radon, Bq/m<sup>3</sup>, detector pasiv, detector activ, CNCAN, PNAR, Directiva 59/2013 EURATOM, materiale de construcții, eficientizare energetică, metode de atenuare, doză efectivă atribuită, expus profesional la radiații ionizante.

## Cuprins

1.	Stadiul actual al problematicii radonului.....	1
1.1	Radon: istoric, importanță și impact. Efectele asupra sănătății cauzate de expunerea la radon ...	1
1.2	Importanța cercetărilor asupra radonului .....	2
1.2.1	Efectele asupra sănătății cauzate de expunerea la radon.....	2
1.3	Poluanții aerului din spațiile închise (altele decât radonul) și efectele nocive ale acestora.....	4
1.4	Radon: ceea ce se cunoaște despre acest gaz și impactul acestor informații asupra diverselor categorii de persoane.....	5
1.4.1	Chestionare cunoștințe despre “radon” .....	6
1.5	Radon (noțiuni de bază) .....	7
1.5.1	Proprietăți chimice .....	7
1.5.2	“Părinții” radonului .....	8
1.5.3	Radiul “elementul părinte” .....	9
1.5.4	Emiterea radonului.....	9
1.6	Metode de migrare/transport ale radonului .....	10
1.6.1	Difuzia și curgerea vâscoasă .....	11
1.6.2	Fluxul de radon.....	11
1.7	Radonul în factorii de mediu (atmosfera, apă, sol) .....	13
1.7.1	Radonul în atmosferă .....	13
1.7.2	Radonul în apă.....	13
1.7.3	Radonul din subteran (din sol) .....	14
1.8	Radonul în clădiri/spații închise.....	15
1.8.1	Cumularea și deplasarea gazului radon în interiorul clădirilor și a spațiilor închise .....	16
1.8.2	Concentrațiile de radon din interior .....	18
1.8.3	Echilibrul descendenților și depunerea acestora .....	18
1.9	Risc crescut la expunere versus eficiența energetică .....	19
1.9.1	Eficiențizarea energetică a clădirilor (proprie/instituții/loc de muncă) duce la creșterea riscului de expunere la radon.....	20
2.	Cadrul legislativ privind problematica radonului.....	21
2.1	Directive Europene aplicabile .....	21
2.1.1	Directiva 59/2013 Euratom [57] a consiliului din 5 decembrie 2013 .....	21
2.1.2	Directiva 29/1996.....	22
2.2	Impactul Directivei 59/2013 asupra diverselor categorii sociale.....	23
2.2.1	Proprietarii de case/locuințe .....	24
2.2.2	Publicul larg .....	24
2.2.3	Angajatori și lucrători.....	24
2.3	Sistemul internațional de Radioprotecție/Protecție Radiologică.....	25
2.3.1	Elaborarea cadrului legislativ internațional în domeniul radioprotecției .....	26
2.3.2	Legislația națională și europeană în domeniu .....	26
2.3.3	Normele privind cerințele de bază de securitate radiologică aprobate prin Ordinul ministrului sănătății, al ministrului educației naționale și al președintelui Comisiei Naționale pentru Controlul Activităților Nucleare nr. 752/3.978/136/ 2018 și publicate în Monitorul Oficial al României, Partea I nr. 517 bis din data 25.06.2018. ....	27
2.3.4	Legea nr. 111/1996 cu completările și modificările din Legea nr. 16/1998, O.U. 204/2000, Legea nr. 193/2003, Legea nr. 63 / 2006, Legea nr. 378/2013, Legea nr. 63 / 2018 privind desfășurarea în siguranță, reglementarea, autorizarea și controlul activităților nucleare.....	27
2.3.5	Planul Național de Acțiune la Radon (PNAR).....	27

2.3.6	Legislație privind radonul în apă.....	28
3.	Detectarea și măsurarea radonului. Metode de detectare a concentrației de radon.....	29
3.1	Introducere.....	29
3.1.1	Detectarea radonului prin metode directe și indirecte.....	29
3.1.2	Metode de măsurare a concentrației de radon.....	29
3.1.3	Detectorsi general utilizați pentru măsurarea radonului.....	30
3.2	Aparatură folosită pentru măsurătorile concentrației de radon în diverse medii.....	32
3.2.1	Detectorul RAD7.....	32
3.2.2	Airthings Wave Plus [104].....	34
3.2.3	Detectorsi de urme CR-39.....	36
3.2.4	Detector "home-made". Detectarea particulelor alfa (proveniență sursă-radon).....	37
3.3	Acumularea radonului în aerul din interiorul spațiilor închise.....	41
3.3.1	Aspecte generale.....	41
3.3.2	Factori ce influențează radonul rezidențial și măsurarea lui.....	42
3.3.3	Prezentare generală a Județului Argeș [124].....	42
4.	Determinarea concentrației de radon în diverse medii.....	50
4.1	Măsurători ale concentrației de radon în aer efectuate în diverse clădiri/spații închise, utilizând detectorul activ RAD7.....	50
4.1.1	Concluzii și observații privind măsurătorile concentrației de radon în aer efectuate în diverse clădiri/spații închise, utilizând detectorul activ RAD7.....	83
4.2	Măsurători ale concentrației de radon în aer utilizând detectorul activ Airthings Wave Plus (AWP) 88	
4.2.1	Concluzii și observații privind măsurătorile concentrației de radon în aer folosind detectorul activ AWP.....	113
4.3	Măsurători ale concentrației de radon în aer utilizând detector pasiv de urme CR-39.....	121
4.4	Compararea măsurătorilor efectuate cu 3 tipuri de detectorsi: RAD7, Airthings Wave Plus și detector de urme CR-39.....	122
4.5	Măsurători ale concentrației de radon în aer pe amplasamentul FCN Pitești.....	123
4.5.1	Developarea detectorsilor de urme CR-39 conform procedurii interne [130] LiRaCC UBB Cluj	133
4.5.2	Evaluarea rezultatelor analizei de screening/depistare pentru FCN Pitești.....	135
4.5.3	Recomandări privind măsurătorile concentrației de radon efectuate pe amplasamentul FCN Pitești	137
4.6	Măsurători ale concentrației de radon în apă.....	138
4.6.1	Concluzii privind măsurătorile concentrației de radon în apă.....	140
4.7	Măsurători ale concentrației de radon în sol.....	141
4.7.1	Monitorizarea continuă.....	141
5.	Evaluarea impactului concentrației de radon asupra organismului uman prin calculul dozei induse de aceasta.....	142
5.1	Structura dozei efective pentru populație (ne-expusi profesional).....	143
5.1.1	Doza efectivă.....	144
5.1.2	Exemplu de calcul pentru doza efectivă anuală pentru neexpus profesional.....	146
5.2	Structura dozei efective pentru expușii profesionali la radiații ionizante.....	147
5.2.1	Expunerea externă.....	148
5.2.2	Expunerea internă.....	148
5.2.3	Exemplu de calcul pentru doza efectivă anuală pentru expușii profesionali la radiații ionizante	149
5.3	Măsurători ale concentrației de radon în aer efectuate în contextul posibilității apariției cancerului pulmonar.....	150

5.3.1	Comparație între datele epidemiologice și predicții de model.....	151
5.3.2	Predicții ale cazurilor de cancer cu posibilă inducere de către radon .....	152
6.	Protecția împotriva expunerii cauzate de radonul din interiorul clădirilor/spațiilor închise, cât și a radiației gama provenită din materialele de construcții. Metode de prevenire și atenuare .....	153
6.1	Tipuri de fundații pentru clădiri/locuințe/spații închise .....	153
6.1.1	Fundație cu plăci de beton ("slab on grade").....	154
6.1.2	Fundația cu subsol.....	154
6.1.3	Fundație ascunsă ("crawl space") sau fundație cu spațiu de accesare .....	155
6.2	Tipuri de ventilații.....	156
6.2.1	Ventilație naturală prin tiraj .....	156
6.2.2	Sistem de ventilație mecanică a aerului de evacuare .....	157
6.2.3	Alimentare și evacuare mecanică.....	157
6.3	Materiale de construcții.....	158
6.3.1	Indicele Concentrației de Activitate (ICA).....	159
6.3.2	Exemplu de calcul al exhalăției de radon provenit din materiale de construcții.....	160
6.4	Strategii de atenuare/diminuare a concentrației de radon în clădirile existente.....	161
6.4.1	Diagnosticarea și investigarea.....	161
6.4.2	Date despre clădire [155] .....	162
6.4.3	Punctele/ Locațiile de intrare/pătrundere ale radonului .....	163
6.4.4	Admisia aerului, evacuarea aerului și măsurători ale presiunii aerului .....	163
6.4.5	Termografierea clădirii/locuinței .....	165
6.5	Soluții de atenuare a concentrației existente a radonului .....	165
6.5.1	Depresurizarea solului.....	165
6.5.2	Presurizarea .....	169
6.6	Atenuarea expunerilor (radon) eliberate din diverse surse de apă.....	170
6.7	Strategii de prevenire a (acumulării) radonului în clădirile noi/nou-construite și evaluarea eficienței sistemelor de atenuare.....	171
6.7.1	Izolarea.....	171
6.7.2	Membrane .....	172
6.7.3	Depresurizarea activă și pasivă.....	172
6.7.4	Evaluarea eficienței sistemelor de atenuare .....	174
6.7.5	Măsurarea concentrației de radon după aplicarea strategiilor de atenuare.....	174
6.7.6	Informații pentru ocupant, proprietar, manager de clădire .....	174
6.8	Măsurători experimentale ale concentrației de radon în diverse spații închise (apartamente) ținând cont de materialele de construcții utilizate .....	175
6.9	Măsurători experimentale ale concentrației de radon în spații închise (construcții noi/tip case). Utilizarea membranelor antiradon ca mijloc de reducere/atenuare a concentrațiilor interioare.....	181
7.	Concluzii și Contribuții Originale .....	183
7.1	Concluzii .....	183
7.2	Contribuții originale.....	185
7.3	Perspective de viitor.....	186
	ANEXE .....	188
	Anexa 1 – Capturi de ecran – fișier Excel/CVS. Măsurători Airthings Wave Plus.....	188
	Anexa 2 – Fișa tehnică membrană FATRAFOL.....	189
	Anexa 3 – Fișa tehnică materiale de construcții.....	191
	Anexa 4 - Indicații privind materialele de construcții ale clădirilor .....	192
	Bibliografie .....	194

## 1. Scurtă introducere în problematica radonului

Având ca scop producerea razelor X puse în evidență anterior de Wilhelm Roentgen, Henry Becquerel va descoperi în anul 1896 fenomenul de radioactivitate. După separarea radiului de către soții Curie, care au prelucrat mari cantități de minereu de uraniu (pechblendă) provenite de la Joachimstal (Cehia), Robert F. Dorn descoperă în anul 1902 emanația de **radu** (un gaz radioactiv generat de acest element). **Radonul** este un gaz radioactiv provenit din dezintegrarea radiului, cel din urmă provenind din dezintegrarea uraniului. Trebuie menționat faptul că radonul este prezent în toate tipurile de **soluri, ape**, indiferent de adâncimea la care acestea se regăsesc, **materiale de construcții** și poate fi transportat prin intermediul mediilor poroase, în special prin fenomenul de convecție, cât și în particulele din **aer**. Radonul este catalogat drept un gaz **periculos/radioactiv**: poate cauza moartea oamenilor, provocând cancerul la plămâni, fiind menționat în cele mai recente publicații științifice ca factorul secund după fumat. Este utilizat în domeniul medicinei și științei, este inodor, incolor, insipid. Cercetări asupra radonului din minele uranifere și neuranifere din România au fost efectuate de Laboratorul de Radiații din orașul Ștei( Petru Groza) prin Gh. Sandor, G. Dinică, T. Peic, acest laborator fiind sub aripa Institutului pentru Metale Rare și Radioactive București.

De asemenea, Facultatea de Fizică din Cluj-Napoca, împreună cu Universitatea din Gent (Belgia) și Universitatea din Oradea a pornit în anul 1995 un studiu- pilot în România legat de riscul de cancer pulmonar datorat radonului finanțat de către CCE în cadrul unui program PECO. Acest studiu epidemiologic a luat în considerare decesele prin cancer bronhopulmonar primar din județele Bihor și Cluj pe baza unui chestionar adecvat din care a rezultat și ceilalți factori de risc (fumat, noxe chimice etc). Din acest colectiv coordonat de Catedra de Fizică Atomică și Nucleară a facultății de Fizică din Cluj mai fac parte sau au făcut parte, Constantin Cosma (UBB Cluj), T. Jurcuț, și cercetătorii dr. D. Ristoiu, conf. dr. T. Vaida și dr. D. Drăgoiu. În prezent (anii 2017-2020), în România pionierii în ceea ce înseamnă cercetări asupra radonului sunt membrii titulari ai Laboratorului de Cercetare Încercări Radon „Constantin Cosma” – LiRaCC, dintre care amintim CS Dr. Alexandra Cucoș Șef Laborator, Prof. Dr. Carlos Sainz, UC Spania/UBB, Lect. Dr. Tiberius Dicu Coordonator Tehnic și mulți alții. De menționat este faptul că LiRaCC este desemnat de către CNCAN să desfășoare investigații și măsurători ale concentrației de radon în probe din factorii de mediu (aer, apă, sol) prin adoptarea standardelor naționale și europene în practică curentă.

Conform unei evaluări a Comitetului Științific al Națiunilor Unite privind efectele radiațiilor atomice (UNSCEAR) din mediul înconjurător, acestea reprezintă jumătate din expunerea umană la radiații din surse naturale. Radonul a fost recunoscut drept cauză pentru excesul de cancer pulmonar în rândul minerilor. În consecință, radonul a fost clasificat drept **carcinogen**. Din moment ce radonul reprezintă în medie aproximativ jumătate din totalul expunerii umane la radiații din surse naturale, o atenție sporită a fost acordată expunerii la radon și riscurilor asociate acesteia pentru sănătate, atât în țările industrializate, cât și în cele în curs de dezvoltare. Există cel puțin trei aspecte de importanță majoră ce privește studiile/cercetările legate de radon, de răspândirea, migrarea, ihalarea sa. Primul amintit: este legat de determinarea radonului și radiului din apele subterane (fântâni, ape geotermale, ape de zăcământ, lacuri, puțuri etc.). Al doilea aspect: este legat de potențialul de radon din sol și exhalția sau fluxul de radon provenit de la suprafața pământului. Un ultim aspect, cel de-al treilea, dar având aceeași importanță ridicată este legat de radonul din interiorul clădirilor/halelor/spațiilor de muncă. Dacă în aerul exterior concentrația radonului este în medie **4-8 Bq/m<sup>3</sup>**, depinzând foarte mult de condițiile geologice și meteorologice, în interiorul locuințelor/spațiilor închise, prin acumulare, valorile măsurate sunt de ordinul 20-80 Bq/m<sup>3</sup>, iar în unele cazuri, valori de ordinul a 2000-4000 Bq/m<sup>3</sup>. Ținând cont de cele 3 aspecte mai sus detaliate, cercetările și studiile efectuate în aria radioprotecției se așteaptă a fi unele vaste, cu subiecte multiple dezbătute din mai multe puncte de vedere, pe planuri naționale și/sau internaționale.

Comisia Națională de Control a Activităților Nucleare (CNCAN), organismul de reglementare și control al României trebuie să finalizeze cadrul legislativ pentru implementarea Directivei Euratom

59/2013 de stabilire a normelor de securitate de bază privind protecția împotriva pericolelor prezentate de expunerea la radiațiile ionizante. Prin intermediul directivei se au în vedere următoarele:

- Calcularea dozelor încasate de muncitori (expuși profesionali la radiații ionizante)/populație/bolnavi;
- Stabilirea nivelurilor de referință pentru concentrațiile de radon din interior, cât și pentru expunerea la radiațiile gamma din interior emise de materialele de construcții;
- Instituirea de către statele membre UE a unui program adecvat de monitorizare a nivelului de radioactivitate în mediu. Se poate aduce în discuție Planului Național de Acțiune la Radon (PNAR) ca subiect de interes pentru problematica radonului în România. PNAR abordează riscurile pe termen mediu și lung rezultate ca urmare a expunerii populației și lucrătorilor la radonul din locuințe, din clădirile cu acces public și de la locurile de muncă pentru orice sursă de pătrundere a radonului în interior, fie că provine din sol și/sau din materialele de construcții. Planul Național de Acțiune la radon a fost aprobat prin Hotărârea de Guvern nr. 526/2018 publicată în Monitorul Oficial al României nr. 645/25.07.2018. În România, nivelul maxim admis de radiații ionizante al fondului natural este de 300 Bq/m<sup>3</sup>. Potrivit datelor CNCAN, la nivel național, media de concentrației de radon în aer este de aproximativ 145 Bq/m<sup>3</sup>, iar în București ajunge până la 202 Bq/m<sup>3</sup>. Sunt anumite locuri în țară unde acest nivel este depășit. Acestea sunt zonele unde se regăsesc zăcăminte cu minereuri radioactive, foste mine.

## 2. Obiectivele tezei doctorale

Având în vedere cele expuse în capitolul introductiv anterior, am dorit ca obiectivele prezentei teze de studiu doctoral să cuprindă cel puțin următoarele aspecte:

- Măsurători ale concentrației de radon folosind aparatură (detectori) adecvați din punct de vedere legislativ, cât și metrologic. Măsurătorile (indiferent de tipul acestora) au fost efectuate cu aparatură metrologizată/calibrată (aparatură de laborator dozimetric/radioprotecție).
- Măsurători ale concentrației de radon în diverse medii (aer/apă/sol) în diverse zone din țară. Prin acest lucru am vrut să pun în lumină importanța solului în acest tip de măsurători. Indiferent că vorbim de măsurători în aer/sol/apă, principala “sursă” de radon se află în scoarța terestră.
- Măsurători ale concentrației de radon efectuate atât în mediu liber/deschis, dar cu precădere în spațiile închise. Prin spații închise se înțeleg: locuințe tip apartament, case de locuit-proprietati private și spații de lucru.
- Măsurătorile concentrației de radon de la locul de muncă (FCN Pitești) au fost efectuate în conformitate cu cerințele legislative în vigoare, implicarea mea fiind una mare, detaliată pe parcursul capitolelor prezentei teze.
- Pe lângă partea experimentală propriu-zisă, cea prin care s-au efectuat măsurătorile concentrației de radon, s-a dorit corelarea acestor valori cu “realitatea din teren”. Am corelat valorile găsite în mod experimental cu: zona geografică, solul pe care se află amplasamentul (fie că vorbim de blocul de locuințe, fie de casă), comportamentul locuitorilor acestor imobile, structura casei (materiale de construcții, sisteme de ventilație, fisuri, neetanșeități).
- Implementarea soluțiilor de atenuare/diminuare a concentrațiilor de radon în construcții noi, de tipul caselor. Am implementat cu succes o mică parte din ceea ce poate însemna aceste soluții: am introdus în structura casei proprii aflate în construcție, membrana anti-radon, la parterul acesteia. Am efectuat în mod comparativ măsurători ale concentrației de radon în casa proprie și o casă (de dimensiuni și structură aproximativ identică) fără acest tip de membrană.



- Realizarea unui prototip de detector de radon cu obiecte de uz casnic, fără investiții majore. Am publicat un articol științific în acest sens în Revista UPB.

-Instruirea personală, prin efectuarea stagiului de practică într-un laborator desemnat CNCAN pentru măsurători ale concentrației de radon. Instruirea a constat în schimb de experiență, cercetarea apărării de laborator, dezvoltarea detectorilor folosiți în analiza de screening efectuată pentru FCN Pitești.

### 3. Rezumatele capitolelor

Prezenta teză de doctorat este structurată în 7 capitole, după cum urmează:

**Capitolul 1** prezintă istoricul, importanța și impactul pe care gazul radon îl are asupra oamenilor, indiferent de încadrarea ca populație sau expus profesional la radiații ionizante. În acest capitol sunt prezentate câteva aspecte teoretice cu privire la descoperirea acestui gaz, la studiile teoretice/practice efectuate asupra lui, cât și la impactul pe care acest gaz inodor, incolor, insipid îl poate avea asupra organismului dacă este inhalat/ingerat în cantități care depășesc limite impuse la nivel internațional, dar nu numai. Inhalarea/ingerarea lui și în cantități reduse poate fi dăunătoare organismului.

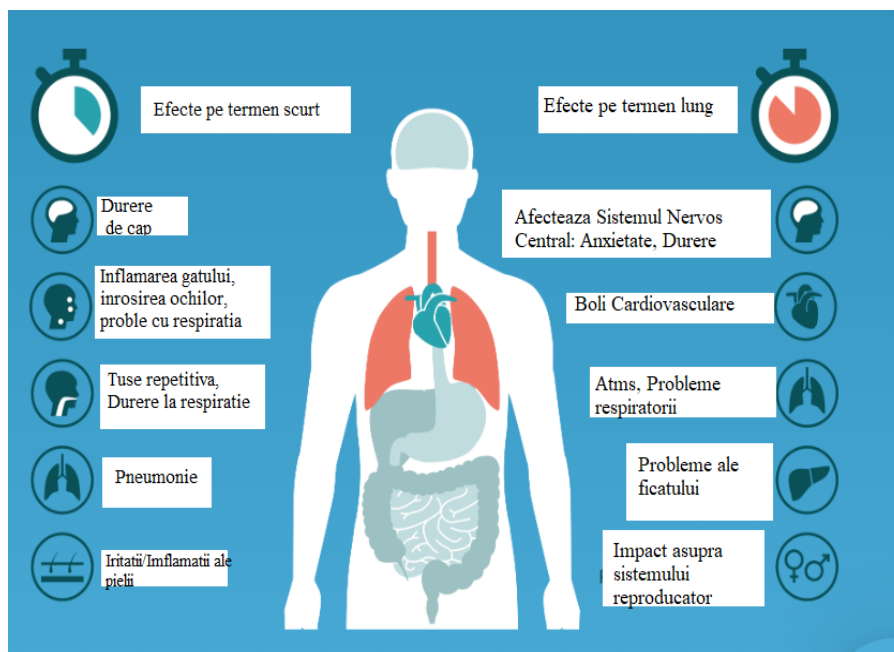


Figura 1 – Efecte negative ale inhalării/ingerării concentrației de radon

Sunt prezentate, de asemenea, rezultatele răspunsurilor expușilor profesionali la radiații ionizante din cadrul FCN Pitești la un chestionar privind cunoștințele minimale despre gazul radon. Răspunsurile au fost vaste, concluzia generală fiind faptul că oamenii nu au cunoștințe asupra impactelor negative ale radonului. De-alungul capitolului am încercat explicarea, pe înțelesul tuturor, a proprietăților gazului radon, traseul lui în mediu deschis, fie că vorbim de aer, sol, apă, cât și în spațiile închise.

Am adus în discuție metode prin care acesta se poate acumula în interior. Trebuie ținut cont de faptul că acest gaz a fost prezent în viețile oamenilor din totdeauna, însă acest subiect a căpătat o amploare deosebită la nivelul țării noastre (anii 2018-2020 și va continua) o dată cu necesitatea transpunerii Directivei 59/2013 în legislația națională, cât și a viitoarelor acte normative. Acest capitol prezintă și aspecte referitoare la trasabilitatea gazului radon în factorii de mediu (atmosfera, apă, sol), cât și spații închise, fie că este vorba de locuințe proprii, fie că sunt locurile de muncă. **Radonul în atmosferă** - Încălzirea

suprafeței solului în timpul zilei de la Soare și răcirea în timpul nopții cauzează schimbări mari de temperatură în pătura de aer de la suprafața solului. Astfel, în timpul nopții, aerul rece va acumula radon provenit din sol și acesta va fi transportat în timpul zilei (dimineața), de către aerul cald, pe verticală. **Radonul în apă** - Discuții amănunțite în ceea ce privește contribuția radonului din apă la radonul din aerul de interior au fost purtate de-a lungul timpului, ajungându-se la concluzia că radonul din apă nu poate contribui ca o sursă majoră de radon de interior. **Radonul în sol** - Atomii de radon formați la suprafața particulelor de sol sau de mineral vor migra prin capilarele solului, aerul din sol având în general o mare încărcătură radioactivă (aproximativ 55 000 Bq/m<sup>3</sup>).

Trebuie avute în vedere în special concentrațiile de radon din mari cavități subterane care pot fi caterorisite totuși ca fiind spații închise: mine, peșteri, depozite subterane, tunele. **Radonul în spațiile închise**- Fie că vorbim despre clădiri de birouri, clădiri industriale, clădiri cu spații de locuit sau spații închise cum ar fi peșterile, diverse galerii subterane, este foarte importantă analiza impactului pe care radonul îl are asupra oamenilor care își petrec (mai mult) timp în interiorul lor. WHO amintește în publicațiile de specialitate că omul petrece aproximativ 80% din timp în interiorul clădirilor/spațiilor închise, indiferent de natura acestora (birou, locuință, cinematograful, teatru etc.). În aerul continental se admite o valoare medie a concentrației radonului de aproximativ 8 Bq/m<sup>3</sup>. Valorile măsurate de cercetători în interiorul clădirilor depășesc cu mult această valoare, depinzând de tipicul acesteia și de alți mulți parametri de interes, valorile putând ajunge la ordinul miilor de Bq/m<sup>3</sup>, însă ca o valoare medie acceptată: 100-300 Bq/m<sup>3</sup>.

În acest capitol este dezbătută totodată și problematica **eficientizării energetice** a clădirilor care prezintă în urma măsurărilor concentrații mari de radon în interior. Performanțele energetice sunt dorite atât în casele/construcțiile vechi, efectuându-se pentru acestea realitare termică bazată pe sisteme de izolație etanșe, înlocuirea ferestrelor vechi, cu cadru din lemn cu unele de tip termopan, a ușilor vechi din lemn (porozitate ridicată, fisuri/crăpături în material), dar și pentru imobilele nou construite. Pentru imobilele noi se folosesc de la început sisteme performante de ventilare a aerului, membrane de protecție împotriva radonului etc.

În **capitolul 2** am dezbătut pe larg tot ceea ce înseamnă cadrul legislativ atât la nivel național, cât și la nivel internațional. Statele membre ale Uniunii Europene (UE) aveau stabilite norme de bază pentru protecția sănătății lucrătorilor și populației împotriva pericolelor cauzate de radiațiile ionizante, care cel mai recent au fost revizuite prin Directiva Euratom 59/2013 a Consiliului din 5 decembrie 2013. Grupul de experți numit de către Comitetul Științific și Tehnic a sugerat ca normele de securitate de bază să ia în considerare noile recomandări ale Comisiei Internaționale de Protecție Radiologică (ICRP), în special cele menționate în Publicația nr. 103 a ICRP și să fie revizuite în lumina noilor dovezi/măsurători/informații științifice. Conform celor menționate în literatura de specialitate, ultimele constatări epidemiologice ale studiilor rezidențiale demonstrează o creștere semnificativă la nivel statistic a riscului de cancer pulmonar, ca urmare a expunerii prelungite la radonul din încăperi/spații închise. Este recunoscut faptul că fumatul amplifică riscul rezultat din expunerea la radon. Din acest motiv, ambele riscuri trebuie luate în calcul la evaluarea sănătății indivizilor.

Având statutul de stat membru UE, România a preluat recomandările directivei în Normele privind Cerințele de Bază de Securitate Radiologică (NBSR). Nivelul de referință stabilit prin Directiva 59/2013 este de 300 Bq/m<sup>3</sup>, însă statele membre UE pot lua decizii de a stabili un nivel național de referință sub această valoare, dacă acesta este justificat de circumstanțe geologice etc. Există țări, precum Norvegia, unde acest prag este stabilit la 100 Bq/m<sup>3</sup>. Capitolul 2 aduce în discuție, de asemenea și problematica impactului pe care Directiva 59/2013 îl are asupra diverselor categorii sociale.

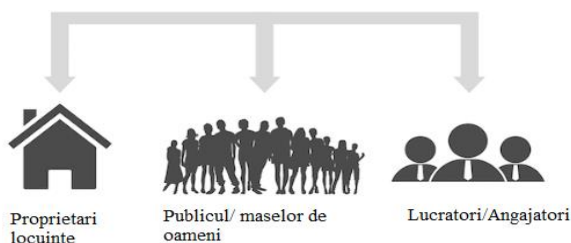


Figura 2- Impactul Directivei 59/2013 asupra diverselor categorii de persoane

În cazul locurilor de muncă (indiferent de specificul acestora: mine, fabrici etc.) unde se depășește nivelul de referință mai sus menționat, este nevoie de declararea/raportarea acestuia către Comisia Uniunii Europene. În cazul locurilor de muncă unde probabilitatea este una ridicată ca doza pe care un expus profesional la radiații ionizante să o încaseze să fie mai mare de 6 mSv/an (proveniență din radon și descendenții acestuia), se va gestiona precum o situație de expunere planificată la care sunt necesare a fi aplicate limitări de doză și de asemenea încadrarea personalului expus profesional în categoriile de lucru A/B conform specificațiilor din legislația în vigoare. Tot în acest capitol au fost dezbătute diverse aspecte privind PNAR-ul, sinteza fiind următoarea:

- Practici autorizate de construcție:
  - Măsurători de radon pe situl construcției;
  - Folosirea materialelor cu un nivel scăzut al concentrației de radon.

- 🕒 Măsurători:
  - Măsurători efectuate în toate spațiile publice de interes major: grădinițe, spitale, secții de Poliție și oricare spațiu aflat la parter/subsol;
  - Identificarea zonelor/spațiilor cu nivel ridicat al concentrației de radon;
  - Comunicarea acestor informații către autorități (CNCAN);
  - Supravegherea acestor niveluri și luarea de măsuri necesare diminuării.

- 🔊 Conștientizarea publicului larg/maselor de oameni mai mult sau mai puțin instruiți:
  - Strategii de comunicare a riscurilor pe care le are inhalarea/ingestia de radon

- 🔧 Diminuarea concentrației de radon:
  - Punerea în aplicare a metodelor de diminuare;
  - Descoperirea altor noi metode.

De-a lungul **capitolului 3** am dezbătut problematica detectării și măsurării concentrației radonului. Particulele alfa emise de thoron și de produșii de dezintegrare ai radonului se diferențiază mai greu față de cele emise de radon. Detectarea radonului se poate realiza prin metode directe și indirecte. Dintre toate metodele și tipurile de aparatură prezentate de-a lungul acestui capitol, pentru realizarea experimentelor/măsurătorilor am folosit următoarele tipuri de detectori: DURRIDGE RAD7, detector activ care folosește un detector alfa în stare solidă. Acest tip de detector este un material semiconductor (de obicei siliciu) care transformă radiația alfa direct într-un semnal electric. Un avantaj important al acestor dispozitive îl reprezintă rezistența. Un alt avantaj este capacitatea de a determina electronic energia fiecărei particule alfa. Imaginea de ansamblu a acestui tip de detector se regăsește mai jos.

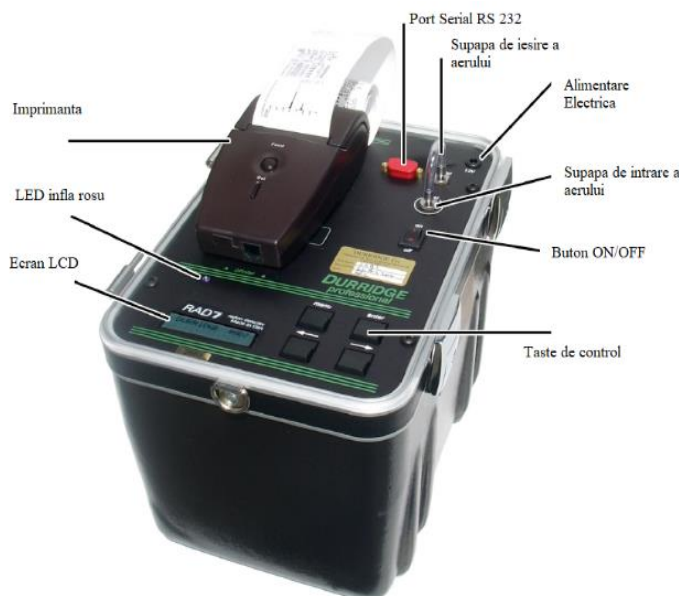


Figura 3 – Detectorul RAD7

Cel de-al doilea detector utilizat a fost Airthings Wave Plus, detector activ de mici dimensiuni, compact, un monitor inteligent IAQ (Indoor Air Quality- Calitatea aerului din interior) de detecție a radonului. Detectorul prezintă pe lângă senzorul de radon și senzori pentru temperatură, presiune a aerului, umiditate, TVOC (total volatile organic compounds- totalitatea compușilor organici volatili) și CO<sub>2</sub>.

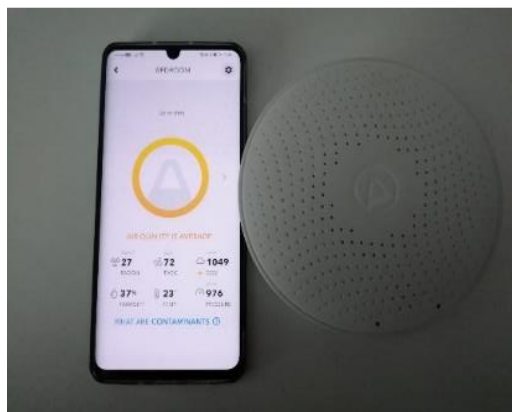


Figura 4- Detector activ Airthing Wave Plus

Detectorii de urme CR-39, detectori pasivi sunt fabricați dintr-un polimer (alildiglicol) și sunt sensibili la radiațiile  $\alpha$  cu energii situate în intervalul 0.2-20 MeV. Pentru vizualizarea urmelor rezultate din interacțiunea particulei incidente cu materialul detectorului se impune o dezvoltare chimică a acestuia. Ca ultimă parte a acestui capitol, am prezentat proiectul propriu/inovativ: detectarea particulelor alfa (cu proveniență sursă de radon) cu un detector home-made, realizat prin reîntrebuințarea unei camere web.



Figura 5 – Detector CR-39

Principiul experimentului detectorului “home-made” de detectare a particulelor alfa (proveniență sursă-radon) a constat în modificarea unei camere web pentru a putea vizualiza “urmele” lăsate de radiația alfa. Modificarea unei camere web reprezintă o modalitate ieftină, ușoară și accesibilă pentru oricine, având ca scop final câștigul de experiență în ceea ce constau cipurile de imagine CMOS. Faptul că cipul este integrat în placa de bază, accesibil pentru cei care doresc să experimenteze, face ca, camerele web să poată fi utilizate în detectarea radioactivității, în special a radiațiilor alfa emise de elementul radioactiv  $Ra^{226}$ , care este „părintele” izotopului  $Ra^{222}$ . O cameră web obișnuită (mass-market) poate detecta particule de mare energie. Pentru ceea ce înseamnă detectarea particulelor cu energie scăzută, cum ar fi particulele alfa, trebuie să sufere anumite modificări. Schimbarea minimă înseamnă îndepărtarea filtrului din sticlă, de protecție al sensorului pentru a avea eficiență maximă. Îndepărtarea filtrului face camera web să fie sensibilă la infraroșu și lumina UV. Pentru unele camere web mai vechi, filtrul și sticla de protecție a sensorului sunt separate, ceea ce le face ușor de schimbat/separat. În cazul camerei web Logitech C270 folosită pentru acest experiment, acestea două sunt combinate, ceea ce face mult mai dificilă separarea lor (fără a strica senzorul).

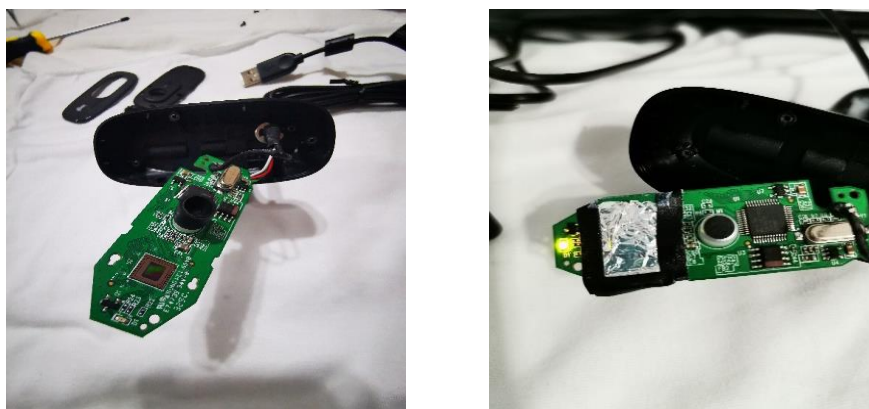


Figura 6 - Camera web Logitech C270

**Capitolul 4** prezintă rezultatele măsurătorilor concentrației de radon în aer în diverse locații. Am realizat numeroase monitorizări/măsurători a diverselor tipuri de locuințe din 3 județe (Argeș-localitatea Mioveni și Oarja, Olt-localitatea Stoborăști și Galați-localitatea Cuca). Am analizat factorii geografici și geologici, punând în evidență cele mai importante aspecte în corelația cu, concentrația de radon. Am prezentat în mod amănunțit aceste măsurători, pe intervale orare, grafice, cât și interpretări ale rezultatelor. Măsurătorile efectuate în toate tipurile de locații din cele 3 județe le-am realizat utilizând detectorul activ RAD7. Măsurătorile concentrației de radon în aer în locații au fost efectuate per seturi a câte 10 măsurători, la 3 intervale orare diferite, după cum urmează: 7:30-16:00, 14:30-1:00, 19:30-6:00. Am ales această metodă pentru a putea observa influența pe care o are ora măsurătorii în creșterea/scăderea valorii concentrației de radon în aer. De asemenea, măsurătorile concentrației de radon s-au efectuat în 4 luni calendaristice diferite ale anului: Septembrie, Decembrie, Martie, Iunie. Aceste luni calendaristice sunt pioni de referință pentru cele 4 trimestre de interes. Prin această distribuire a măsurătorilor efectuate am dorit evidențierea fluctuațiilor concentrației de radon la diferite temperaturi atmosferice și încadrarea lor în diferite sezoane: Septembrie- toamnă, Decembrie-iarna, Martie-primavara și Iunie- început de vară. Pentru fiecare dintre cele 3 seturi de intervale orare, rezultatele măsurătorilor au fost dispuse sub formă tabelară și grafică. Voi prezenta mai jos fragmente din ceea ce este prezentat în teza, acest lucru datorându-se volumului mare pe care acestea îl au.

Tabelul 1 - Sinteza măsurătorilor \_2

Nr. Crt.	Locul efectuării măsurătorii Codificare	Detalii (materiale de constructii, prezenta fisuri în podea/pardoselă etc)	Set	Măsurătoare	Ora efectuării măsurătorii	Luna Calendaristică			
						Septembrie 2019 CmedieRn [Bq/m <sup>3</sup> ]	Decembrie 2019 CmedieRn [Bq/m <sup>3</sup> ]	Martie 2020 CmedieRn [Bq/m <sup>3</sup> ]	Iunie 2020 CmedieRn [Bq/m <sup>3</sup> ]
1	A	aerisire la 14:00 și la fiecare purjare, 10 min, după fiecare set de măsurători, renovare recentă, an 2019, fără fisuri în pardoseli, etanșeitate mare datorată geamurilor noi de tip termopan	1	1	14:30:00	44.8	47.2	33.7	12.9
2				2	15:40:00	44	49	33.7	13
3				3	16:50:00	41.1	49	35	15.4
4				4	18:00:00	40.3	48.8	35	14
5				5	19:10:00	40	42.7	33.2	14
6				6	20:20:00	40	40	33	14
7				7	21:30:00	37.8	40	31.6	13.3
8				8	22:40:00	37	40.1	31	13.6
9				9	23:50:00	37	40.1	31	13
10							10	1:00:00	37
11	A*	aerisire la 14:00 și la fiecare purjare, 10 min, după fiecare set de măsurători, renovare recentă, an 2019, fără fisuri în pardoseli, etanșeitate mare datorată geamurilor noi de tip termopan	2	1	14:30:00	39.7	42.2	38.3	26.5
12				2	15:40:00	39	42	38	26
13				3	16:50:00	39	42	37.7	26
14				4	18:00:00	39.3	41.5	37	26
15				5	19:10:00	38.7	41	37	21.4
16				6	20:20:00	38.7	41.3	37	21
17				7	21:30:00	38	40	31.8	20.5
18				8	22:40:00	36.6	40	31	20
19				9	23:50:00	36	39.4	26.7	20
20							10	1:00:00	35.8

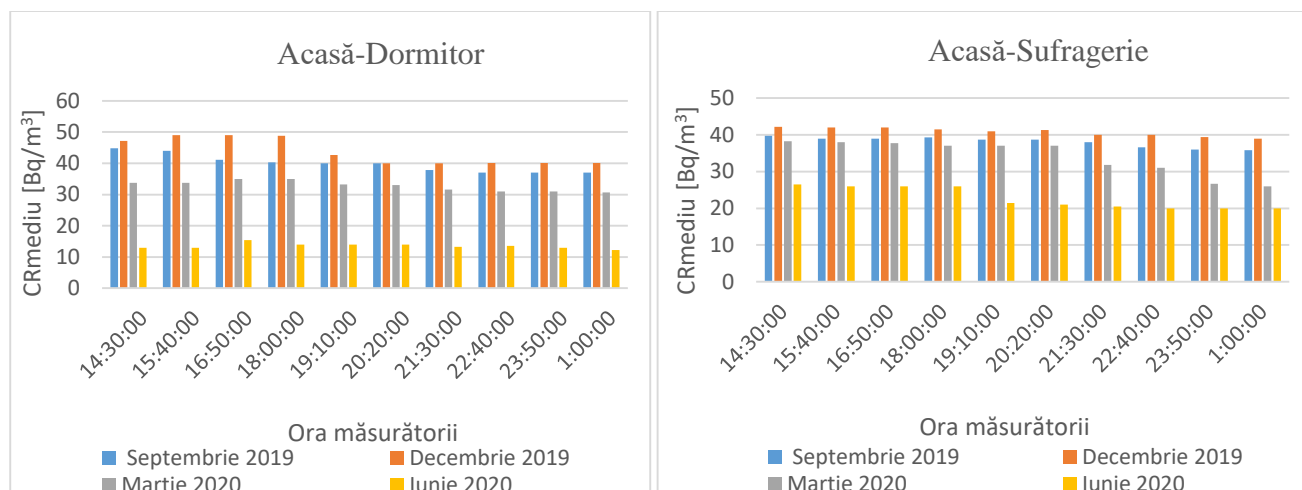


Figura 7 – Reprezentări grafice măsurători

Tabelul 2 - Sinteza măsurătorilor 14:30\_MEDIERE

Nr. Crt.	Locul măsurătorii	Medie per luna Septembrie [Bq/m <sup>3</sup> ]	Medie per luna Decembrie [Bq/m <sup>3</sup> ]	Medie per luna Martie [Bq/m <sup>3</sup> ]	Medie per luna Iunie [Bq/m <sup>3</sup> ]
1	Acasă-dormitor mare	39.9	43.7	32.79	13.54
2	Acasă- sufragerie	38.08	40.84	34.05	22.74
3	Acasă- Bucătărie	48.96	57.71	46.52	31.31
4	Argeș/Oarja 1- Camera de locuit	83.45	87.28	65.63	63.21
5	Argeș/Oarja 2- pridvor	74.29	56.07	50.35	33.33

Aceste măsurători nu s-au rezumat strict la valorile numerice rezultate, mai mici sau mai mari de 300 Bq/m<sup>3</sup>, am dorit și extragerea unor concluzii și observații, care să ajute locuitorii acestor spații închise (apartamente/case) la atenuarea concentrațiilor de radon.

Ținând cont de prevederile legislative care prevăd obligativitatea de a măsura și remedia concentrația de radon din clădiri, atât rezidențiale, cât și la locurile de muncă, fiind obligatorii măsurătorii în toate clădirile publice cu grad de ocupare ridicat din România, preum instituții publice, Fabrica de Combustibil Nuclear-FCN Pitești a desfășurat începând cu anul 2019 o serie de acțiuni pentru a sincronizarea cu normativele în vigoare, ce prevăd respectarea măsurătorilor concentrației de radon la locurile de muncă. În acest sens au fost încheiate 2 contracte: unul de analiză “în teren” a specialiștilor în domeniu (laborator desemnat CNCAN pentru efectuarea măsurătorilor de radon), iar cel de-al doilea contract a presupus efectuarea măsurătorilor de screening a concentrației de radon în toate spațiile de interes ale FCN Pitești. Am detaliat pe parcursul acestui capitol modul în care aceste măsurători au fost efectuate, metodologie, implicarea personală în dispunerea în teren a detectorilor, dezvoltarea la sediul prestatorului (mic stagiu de practică prin care am realizat dezvoltarea detectorilor CR-39) etc. Au fost emise diverse

Studiul concentrației de Radon și metode de reducere a acesteia în spații închise  
Marina Ionela CUCU

documente de interes, printre care buletinul de analiza al detectorilor CR-39 expusi (fragment din acesta prezentat in imaginea de mai jos).

Tabelul 3 - Valori (mai) mari ale concentrației de radon în FCN Pitești

Nr. crt.	Clădire	Nivel	Nr. detectori	Defalcare	Cod detector	Data amplasarii	Data recoltării	Concentrația măsurată <sup>1)2)3)</sup> (Bq/m <sup>3</sup> )	Concentrația anual calculată <sup>2)4)</sup> (Bq/m <sup>3</sup> )
1	Pavilion administrativ	subsol	1	5	5K2718	6/11/2020	9/14/2020	90 ± 10	148
2	Pavilion administrativ	subsol	1	6	5K2847	6/11/2020		104 ± 11	170
3	Pavilion administrativ	subsol	1	9	5K2686	6/11/2020		114 ± 12	187
4	Pavilion administrativ	subsol	1	14	5K2674	6/11/2020		85 ± 9	140
5	Pavilion administrativ	subsol	1	15	5K2731	6/11/2020		67 ± 8	110

Pentru o singură încăpăre din apartamentul propriu am avut la dispoziție un detector activ Airthings Wave Plus și un detector CR-39, pe care i-am supus testelor/măsurătorilor. Valorile rezultate au fost comparate cu cele rezultate din utilizarea detectorului RAD7.

Tabelul 4 - Comparatie între cele 3 tipuri de detectori

		Septembrie	Decembrie	Martie	Iunie
minim	RAD7	22	35	21.6	12.2
	AW	5	5	1	1
	CR-39	45	45	45	45
medie	RAD7	36	45	37	21
	AW	21	45	14	15
	CR-39	45	45	45	45
maxim	RAD7	45	55	52	38
	AW	55	110	47	57
	CR-39	45	45	45	45

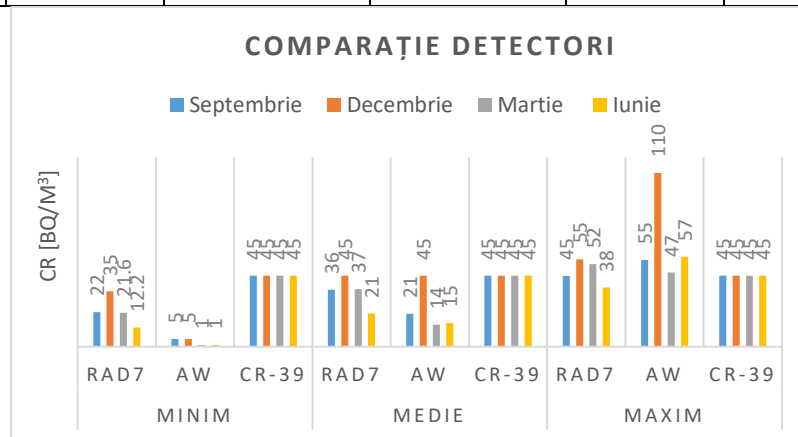


Figura 8 – Comparatie detectori



Gazul radon poate proveni în interiorul spațiilor închise din 3 surse: apă, sol, aer, astfel că am prezentat în ultima parte a capitolului rezultatele măsurătorilor concentrației de radon efectuate în sol, cât și în diverse mostre de ape din județele în care am efectuat măsurătorile concentrației de radon în aer. Pentru toate tipurile de măsurători nu am regăsit nici un rezultat care să depășească limitele stabilite de normativele legislative în vigoare, respectiv: 300 Bq/m<sup>3</sup> pentru aer, 100 Bq/Litru pentru apă.

**Capitolul 5** prezintă evaluarea impactului concentrației de radon asupra organismului uman prin calculul și atribuirea dozei interne/efective totale. Radiațiile care pătrund în organism sunt absorbite într-o mai mică sau mai mare proporție de către acesta. Mecanismul de absorbție al radiațiilor variază în funcție de natura acestora. Radiațiile  $\alpha$  sunt complet absorbite de organismele vegetale și animale pe o adâncime de 0.1 mm. În consecință, radionuclizii care le emit nu sunt periculoși, în afară de cazul când ar fi încorporați în organism prin ingestie și/sau prin inhalare. Procesul de inhalare al radonului și descendenților acestuia este principalul proces care duce la doza de radiație încasată de întreg traiecul respirator și care poate provoca, în cazul unor doze mărite, un cancer primar bronho-pulmonar.

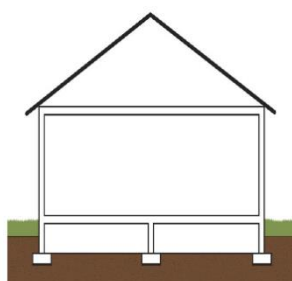
Am detaliat modelul de calcul al dozei efective atât pentru expuși profesionali la radiații ionizate, cât și pentru populație. Se vor discuta și rezultatele măsurătorilor concentrației de radon în aer efectuate în contextul posibilității apariției cancerului pulmonar. Pentru mulți oameni (din categoria neexpușilor profesional la radiații ionizante), radonul reprezintă principalul factor care contribuie la expunerea la radiații ionizante pe tot parcursul vieții. Comitetul științific al Organizației Națiunilor Unite privind efectele radiațiilor atomice a concluzionat în două rapoarte cuprinzătoare (din anii 2000 și 2006) faptul că inhalarea/ingerarea radonului și a produselor sale de dezintegrare sunt factori cancerigeni pentru plămâni (dozele pentru alte organe și țesuturi au fost cel puțin un ordin de mărime mai mic decât dozele la plămân. În anul 2009, Organizația Mondială a Sănătății (OMS) a publicat “Handbook on Indoor Radon” Revizuirea OMS a studiilor recente asupra radonului din interior și a cancerului pulmonar din Europa, America de Nord și Asia a oferit dovezi puternice asupra faptului că radonul cauzează un număr substanțial de cancere pulmonare în populația globală. OMS estimează că proporția cancerelor pulmonare atribuite expunerii la radon variază de la 3 la 14%, în funcție de concentrația radonului în țara în cauză și metoda de calcul utilizată. IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards stabilește cerințe pentru protecția publicului împotriva expunerii la radonul din interior. În special, alin. 5.20 din GSR partea 3, stabilește această responsabilitate ca fiind a autorităților naționale pentru „a se asigura că se stabilește un plan de acțiune care să cuprindă acțiuni coordonate pentru a reduce concentrațiile de radon în clădiri atât existente, cât și în cele noi ce vor fi construite”. În ultima parte a acestui capitol am prezentat rezultatele măsurătorilor concentrației de radon în aer efectuate în contextul posibilității apariției cancerului pulmonar. Pentru compararea predicțiilor modelului cu datele epidemiologice pentru expunerile interioare, am utilizat datele raportate de S. Darby.

Tabelul 5- Risc relativ cazuri cancer pulmonar- Mioveni

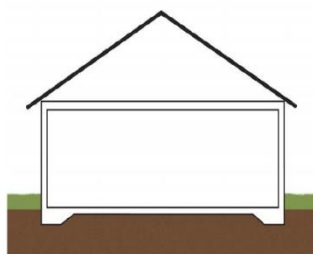
Nr. Crt	Codificare măsurătoare	Valoarea măsurată a concentrației de radon [ Bq/m <sup>3</sup> ]	Risc Relativ- RR [%]	N <sub>Rn,a</sub>	Valoare medie a concentrației [Bq/m <sup>3</sup> ]	Risc relativ mediu [%]	N <sub>Rn,a</sub> mediu
1	C1	67	1.0536	3.87	77,88	1.0623	4.46
2	C2	121	1.0968	6.71			
3	C3	56	1.0448	3.26			
4	C4	59	1.0472	3.43			
5	C5	74	1.0592	4.25			
6	C6	51	1.0408	2.98			
7	C7	101	1.0808	5.68			
8	C8	79	1.0632	4.52			
9	C9	93	1.0744	5.26			

Scopul **capitolul 6** este de a oferi o analiză a soluțiilor tehnice atât pentru acțiunile corective, cât și pentru măsurile preventive ce pot avea ca efect diminuarea riscului de pătrundere a gazului radon (indiferent de manieră) în interior clădirilor/spațiilor închise. Se vor avea în vedere: descrierea metodelor, proiectarea, implementarea măsurilor și acțiunilor de reducere a pătrunderii radonului în clădiri, a materialelor, cât și echipamentele utilizate în aceste soluții. Capitolul prezintă valorile concentrației de radon măsurate în diverse locații, diverse construcții (camere/clădiri) ce au folosit diverse tipuri de materiale de construcții/materiale de reamenajare/reabilitare a spațiilor. Se va observa faptul că valorile concentrației de radon prezentate se află în strânsă legătură cu materialele de construcții folosite. Acest capitol dezbate atât măsurile de atenuare/diminuare a concentrațiilor de radon din clădirile existente, cât și măsurile de protecție pentru reducerea din start (plecând de la faza de proiect) a concentrațiilor de radon în clădirile noi. Am dezbătut subiectul privind diagnosticarea problematicei radonului pentru o serie de tipuri comune de construcții, ventilații și influența acestora asupra pătrunderii radonului într-o clădire/spațiu închis. De asemenea am prezentat o selecție cuprinzătoare de metode de atenuare/diminuare, cât și măsuri de protecție/prevenție pentru clădirile noi. Nu există o soluție magică, general utilizabilă/valabilă pentru toate tipurile de clădiri. Unele locuințe ar putea avea nevoie de o combinație a mai multor metode, astfel încât nivelul de radon să fie redus sub nivelul național de referință ( $300 \text{ Bq/m}^3$  în cazul României). Sunt prezentate:

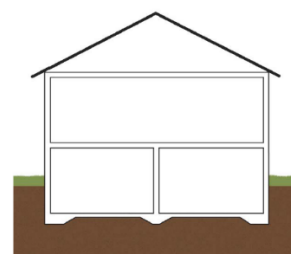
- Tipuri de fundații pentru clădiri/locuințe/spații închise:



Fundație cu spațiu de accesare  
("Crawl space")

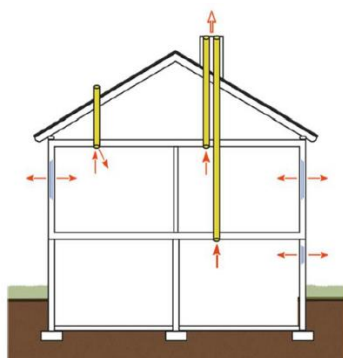


Fundație cu plăci de beton  
("Slab on grade")

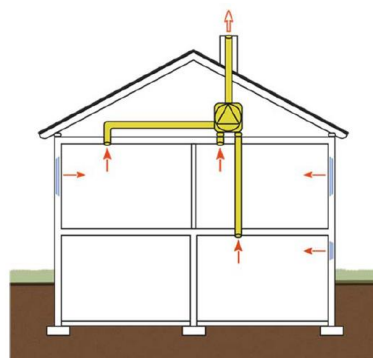


Subsol construcție pe placă portantă  
("Basement with load bearing slab and  
wall construction")

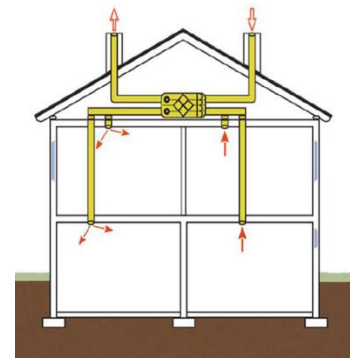
- Tipuri de ventilații:



Ventilație naturală prin tiraj



Ventilație mecanică a aerului



Alimentare și evacuare mecanică

Figura 9 – Tipuri de fundații/ventilații

Într-unul din subcapitole am dezbătut problematica reziduurilor NORM - Naturally Occurring Radioactive Materials: deșeu radioactiv sau material construcției?! Utilizarea materialelor de construcții (mai mult sau mai puțin) radioactive, bogate în radionuclizi emițători gama naturali poate provoca expunerea semnificativă a celor care petrec timp/locuiesc în clădirile construite cu astfel de produse. Materialele de construcții radioactive au fost folosite în multe părți ale lumii de către generații întregi. Principalele materiale (posibil) radioactive sunt betonul, mortarul, produsele secundare și reziduurile industriale folosite ca balast. Concentrații radioactive (mai) mari au fost găsite în rocile magmatice acide în special în graniturile magmatice și în unele roci metamorfice. Betonul este unul din cele mai frecvent folosite materiale de construcții radioactive. Variația concentrațiilor de radionuclizi naturali în beton depinde de materialele radioactive din balast și aditivi. De obicei materialele radioactive folosite ca balast sunt nisipul, pietrișul, macadamul și prundișul, care, în mod normal, nu măresc conținutul radioactiv al betonului. Totuși, sunt folosite de asemenea alte materiale radioactive de balast precum piatra ponce cu concentrație mare de Ra<sup>226</sup>. Tabelul de mai jos prezintă unele dintre cele mai utilizate materiale de construcții de pe teritoriul țării.

Tabelul 6 - Cele mai utilizate materiale de construcții din România

Tip de material	Activitatea specifică medie			Index/Categorie
	K <sup>40</sup>	Ra <sup>226</sup>	Th <sup>232</sup>	
Materiale de construcții curent utilizate				
Nisip	176 ± 190	24 ± 18	20 ± 22	0,242/ I
Pietriș	137 ± 108	25 ± 10	13 ± 4	0,200/ I
Ciment	281 ± 148	70 ± 59	27 ± 8	0,2-0,8/ I-II
Beton	918 ± 519	69 ± 51	77 ± 69	0,921/ II
Mortar	313 ± 168	43 ± 19	44 ± 25	0,467/ I
Cărămizi/cărămizi roșii	1038 ± 170	56 ± 25	51 ± 24	0,661/ II
Materiale ceramice	725 ± 376	51 ± 34	45 ± 21	0,732/II
Gips natural	199 ± 100	41 ± 16	40 ± 19	0,410/I
Var	343 ± 270	43 ± 11	31 ± 17	0,433/I

Ultimul subcapitol prezintă măsurătorile experimentale ale concentrației de radon în spații închise (construcții noi/tip case) utilizând membrana anti-radon ca mijloc de reducere/atenuare a concentrațiilor interioare de radon. S-a dovedit faptul că folosirea membranei poate reduce cu până la 88% concentrația de radon într-un spațiu închis.

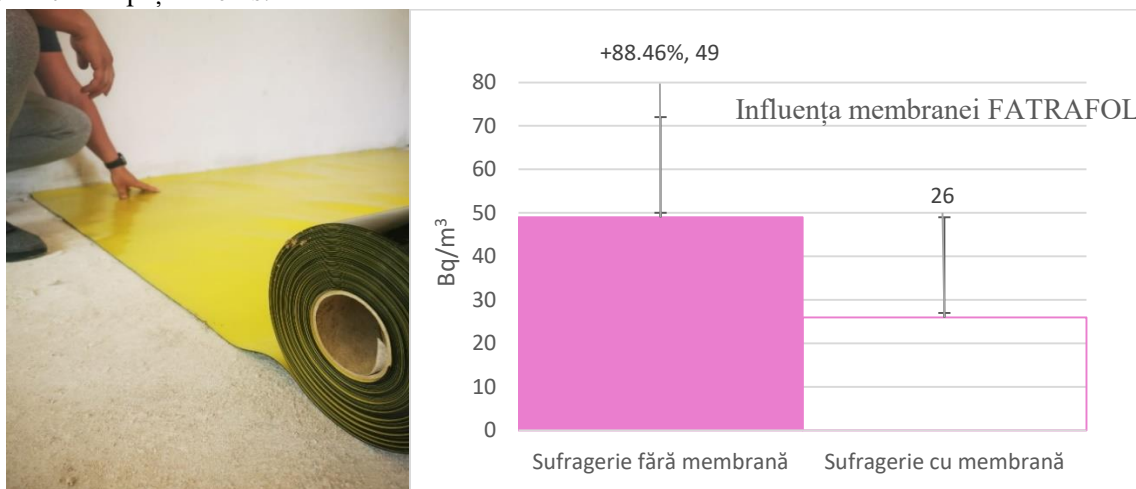


Figura 10 – Membrana anti-radon FATRAFOL

Ultimul capitol, **capitolul 7**, prezintă observațiile, concluziile generale, cât și contribuțiile personale aduse lucrării. De-a lungul capitolului au fost analizate valorile rezultate în urma efectuării măsurătorilor concentrației de radon în toate cele 3 medii: sol, apă, aer. Aceste valori nu au indicat neconcordanțe. În cazul măsurătorilor efectuate pe mostrele de apă, seturile de valori nu au indicat creșteri, cea mai mare valoare fiind de aproximativ 20 Bq/Litru, o cincime din limita legislativă impusă, de 100 Bq/Litru. Pentru măsurătorile efectuate în aer, indiferent de locația aleasă, ora efectuării măsurătorilor, a detectorilor folosiți, pot afirma faptul că s-a observat dependența parametrilor temperatură/presiune-radon. În funcție de detectorul folosit, de sensibilitatea acestuia (caracteristici constructive tehnice), valorile înregistrate au oscilat, dar nu au fost cazuri extreme, de diferențe majore înregistrate în aceleași condiții de către 2 detectori diferiți.

De reținut este faptul că cea mai simplă metodă de a reduce concentrația de radon din interiorul încăperilor/spațiilor închise este prin simpla deschidere a unui geam și/sau ușă (acolo unde există posibilitatea). Geamul/ușa trebuie să fie deschis/a larg pentru a exista schimbul curenților de aer, nu rabatat sau foarte puțin deschis. Acest aspect a fost constatat în mod experimental în locuința proprie, codificare A, conform tabelelor prezentate în teze. Pentru încăperea de interes "Dormitor" s-a constatat că pentru o aerisire (deschidere de geam) de aproximativ 15 minute, în sezonul cald, luna Iunie, concentrația de radon scade cu aproximativ **17%** (de la 28.44 Bq/m<sup>3</sup> la 23.6 Bq/m<sup>3</sup>), iar pentru sezonul rece, luna Decembrie, concentrația de radon scade cu aproximativ **29%** (de la 53.34 Bq/m<sup>3</sup> la 37.87 Bq/m<sup>3</sup>).

S-a constatat că sistemele de recirculare/evacuare a aerului interior (de tip hotă de bucătărie, ventilatoare din băi, sisteme AC- aer condiționat) pot avea un rol important în acumularea concentrațiilor mari de radon din crăpăturile/fisuri existente în pardoseli/podele. La funcționarea acestora, gazul radon se acumulează în interiorul încăperii. Acest impact negativ a fost demonstrat în urma măsurătorilor efectuate cu detectorul activ Airthings Wave Plus. Valorile aferente lunii Iunie prezintă un fenomen de interes: în zilele de 07-08 valorile concentrației de radon au fost unele ușor crescute (50 Bq/m<sup>3</sup>). În plin sezon cald, această valoare a fost una mare, valorile măsurate ar fi trebuit să fie din ce în ce mai scăzute! La o primă analiză (minimală) efectuată, răspunsul se află în folosirea excesivă a AC-ului. Capacitatea ridicată a unui astfel de sistem de ventilație, după cum menționam și anterior, poate extrage radonul din pardoseli și/sau crăpături existente.

Măsurătorile concentrației radonului în sol au indicat valori de mii de Bq/m<sup>3</sup> (valoarea maximă găsită a fost de aproximativ 4 mii de Bq/m<sup>3</sup> în sezonul rece, în luna Decembrie). Aceste valori nu sunt unele anormale scoarța terestră fiind locul de formare al gazului radon. Măsurătorile concentrației de radon în sol s-au efectuat pentru o singură locație, locația A (conform tabelului 11). Solurile caracteristice orașului Mioveni sunt: soluri brune argiloiluviale, soluri brun luvic, regosoluri, erodisoluri.

Comparația între valorile concentrației de radon găsite în spațiile de locuit versus spațiile de la locul de muncă, pe perioada anotimpului cald au dus la concluzia că acestea sunt unele comparabile cu cele din locația A (apartamentul propriu): 44 Bq/m<sup>3</sup> comparativ cu o medie de 30 Bq/m<sup>3</sup>

#### 4. Contribuții originale

Contribuțiile originale aduse prezentei lucrări sunt următoarele:

- Efectuarea măsurătorilor concentrației de radon în toate cele 3 medii de interes (aer/apă/sol) utilizând aparatură dozimetrică (calibrată și metrologizată) diversă, detectori activi: RAD7 (kit standard de măsurători în aer la care s-a conectat fie kit-ul de apă, fie cel de sol), Airthings Wave Plus, detectori pasivi: detectori de urme CR-39.

- Corelarea măsurătorilor concentrației de radon efectuate cu măsurătorile debitului de doză ambiental (măsurat cu aparatură dozimetrică profesională de laborator- Debitmetru FH-G-10 Thermo Fisher).
- Developarea personală a detectorilor CR-39 utilizați în procesul de screening/depistare în FCN Pitești într-un laborator ODD (Organism Dozimetric Desemnat).
- Efectuarea de măsurători în diverse tipuri de locuințe și la diverse surse de aprovizionare cu apă (atât la sistemul centralizat de distribuție, cât și la puțurile/fântânile din curțile caselor respective) și identificarea posibilelor căi de acces a gazului radon.
- Prelucrarea datelor experimentale măsurate și identificarea surselor și factorilor care au contribuit la sursa de radon din spațiile închise.
- Validarea eficienței utilizării unei membrane anti-radon la reducerea concentrației de radon în spații închise.
- Realizarea și validarea unui detector “home-made”- bazat pe detectarea particulelor alfa (proveniență sursă-radon).
- Realizarea primului studiu asupra nivelului concentrației de la radon de la FCN Pitești. Studiul a constat din elaborarea metodologiei de măsurare, măsurarea efectivă a concentrației de radon, prelucrarea datelor experimentale și elaborarea unor concluzii și recomandări. O parte din aceste recomandări au fost deja implementate, celelalte fiind în curs de implementare.
- Calculul dozelor efective încasate din expunerea la radon, atât de populație, cât și de personalul expus profesional (îndiferent de categoria de încadrare A sau B, conform legislației în vigoare) al FCN Pitești.

## 5. Perspective de viitor

Problematika radonului este una vastă, având multe arii de interes. Prezenta lucrare a dezbătut pe scurt noțiunile generale privind gazul radon, metode de detecție/măsurare a acestuia, importanța materialelor de construcții, protecția împotriva expunerii cauzate de radonul din interiorul clădirilor/spațiilor închise, cât și a radiației gama provenită din materialele de construcții, metode de prevenire și atenuare, calculul dozelor încasate de populație și/sau expușii profesionali la radiații ionizante.

Prezenta lucrare poate fi extinsă/continuată prin diverse lucrări științifice, de tipul articole în reviste de interes, conferințe naționale/internaționale ce au ca subiect radioprotecția/protecția radiologică, dar nu numai. Printre subiectele de interes ale viitoarelor lucrări (personale) științifice pot enumera:

- Măsurători ale concentrației de radon în partea de N-V, cât și în centrul țării și compararea cu măsurătorile efectuate în partea de S și S-E a țării. Realizarea acestor măsurători ar trebui să se facă, cu aceleași tipuri de detectori, cât și în tipuri de locuințe asemănătoare. Dacă se vor menține în proporție mare aceleași “baze” de măsurare, prin aceste măsurători se poate arăta importanța factorilor geologici, cât și geografici asupra măsurătorilor concentrației de radon.

- Măsurători amănunțite pe diverse tipuri/categorii de materiale de construcții care emit gama și care contribuie la doza efectivă. Se pot realiza cercetări amănunțite asupra pieței de materiale de construcții.

- Eficientizarea termică a clădirilor/spațiilor versus costuri, analiză din punct de vedere economic. În cadrul unui articol de tipul acestuia se pot realiza calcule pentru a stabili costurile extra inițiale ce trebuiesc

Studiul concentrației de Radon și metode de reducere a acesteia în spații închise  
Marina Ionela CUCU

planificate pentru o construcție nouă care ar avea în structura toate mijloacele eficiente de atenuare/diminuare a concentrației de radon.

- Efectele negative/distructive din punct de vedere medical/biologic. Literatura de specialitate confirmă faptul că, gazul radon este a doua cauză a cancerului pulmonar. Poate reprezenta un subiect de interes al unei lucrări științifice corelarea datelor din literatură cu ceea ce se întâmplă în realitate. De interes major ar fi ca acest studiu să se realizeze într-o zonă de interes, de exemplu locuințe lângă foste mine de prelucrări, foști expuși profesionali la radiații ionizante, și totodată fumători, activi și/sau pasivi.

- Metode/mijloace de reducere/diminuare/atenuare a concentrației de radon în diverse medii și/sau în diverse tipuri de clădiri/spații în cazul concentrațiilor mari de radon (depășiri ale nivelului maxim admis național). Se pot urmări în timp efectele economice, cât și cele cu impact medical. Pentru aceste studii se poate avea ca punct de plecare aspectele detaliate în capitolul 6 al prezentei lucrări.