



UNIVERSITATEA "BABEȘ-BOLYAI" CLUJ-NAPOCA
FACULTATEA DE ȘTIINȚA MEDIULUI



TEZĂ DE DOCTORAT
- Rezumat -

CERCETĂRI PRIVIND RADONUL ȘI
REDUCEREA CONCENTRAȚIEI DE
RADON ÎN LOCUINȚE

Doctorand:
Ing. SUCIU LIVIU

Conducător științific:
Prof. Univ. Dr. CONSTANTIN COSMA

CLUJ-NAPOCA
2014

Cuprins

Introducere.....	3
Capitolul 1. Radonul	6
1.1. Radonul, efecte nocive	
1.2. Măsurarea concentrației de Radon în aer	
Capitolul 2. Sistem de măsurare a concentrației de Radon în aer și transmisia datelor din locații multiple.....	11
2.1. Sistemul de măsurare cu cameră de detecție	
2.2. Sistemul de măsurare cu cameră de ionizare	
2.3. Măsurarea prin integrare	
2.4. Măsurarea prin numărarea impulsurilor	
2.5. Blocuri componente ale aparatului de măsurare a Radonului	
2.6. Rezultate experimentale	
Capitolul 3. Metode aplicate pentru micșorarea concentrației de Radon în aer.....	28
3.1. Construirea și recondiționarea locuințelor pentru a asigura scăderea concentrației de Radon în zona Băița	
3.1.1. Măsurarea concentrației de Radon înainte de remediere	
3.1.2. Măsuri de remediere aplicate	
3.1.3. Măsurarea concentrației de Radon după remediere	
3.1.4. Rezultate experimentale finale	
3.2. Materiale conductive pentru ecranare electromagnetică și atenuarea concentrației de Radon	
3.2.1. Erori la măsurarea concentrației de Radon cu dispozitive electronice datorate câmpului electric	
3.2.2. Determinarea atenuării nivelului de radiație prin folosirea unor materiale și nanomateriale cu inserții conductive	
Capitolul 4. Concluzii și principalele contribuții personale.....	42
4.1. Concluzii	
4.2. Contribuții personale	
Bibliografie selectivă.....	49

Cuvinte cheie

Aparat de măsurare a concentrației de Radon în aer, simulare PSPICE, simulare SIMULINK, perturbații electromagnetice, cameră de detecție, transmisia datelor, micșorarea concentrației de Radon, tehnici de remediere, membrana antiradon

Introducere

Obiectivele tezei

Am început lucrul la această teză cu mult timp înainte, abordând tematica din două puncte de vedere. Primul a fost datorat formației mele de absolvent al specializării de Electronică și Telecomunicații, iar celălalt datorat colaborării cu un colectiv prestigios de fizicieni de la UBB Cluj Napoca. Teza poate fi considerată din acest motiv o teză multidisciplinară, acoperind atât domenii specifice concepției și proiectării în electronică cât și domenii specifice fizicii aplicate.

Este mobilizator să lucrezi pentru o asemenea temă datorită principalului obiectiv urmărit, acesta fiind eliminarea, respectiv micșorarea unui pericol la adresa sănătății omului. Citind pentru prima dată despre Radon și efectele lui în cartea (Cosma și Jurcut, 1996), interesul meu pentru acest domeniu a determinat evoluția mea profesională viitoare. Prima participare într-un proiect de cercetare (CEEX nr. 747, 2006) a confirmat interesul meu în acest domeniu. Cu ocazia acestui proiect și a primelor cercetări realizate în cadrul colectivului de Electronică și Calculatoare de la Universitatea Transilvania din Brașov am publicat primul articol, datând din 2007.

Teza are două obiective principale:

1. Concepția, proiectarea și realizarea practică a detectoarelor electronice de Radon;
2. Implementarea unor măsuri de reducere a concentrației de Radon în aer în zona Băița-Ștei.

Unitatea tezei este asigurată de faptul că anumite măsurători de concentrație a Radonului în aer realizate în cadrul aplicației descrise în a doua parte a tezei au fost făcute cu aparatele a căror proiectare și realizare a fost descrisă în prima parte a tezei.

În cadrul primului obiectiv principal m-am confruntat cu probleme deosebite de cele întâlnite uzual în proiectare. Obiectivele formulate în vederea atingerii obiectivului principal 1 au fost:

1. Care dintre principiile de măsurare a radiației se pot aplica la măsurarea Radonului, cel integrativ sau prin numărarea impulsurilor;
2. Ce soluții de eliminare a perturbațiilor electromagnetice pot fi aplicate pentru a asigura acuratețea măsurătorilor;
3. În cazul realizării unor măsurări automate, cum pot fi datele transmise la distanță;
4. Cum se poate integra un sistem prin care aparatul de măsură să-și transmită coordonatele pentru a putea fi identificat punctul de măsură;
5. Cum se poate etalona și apoi determina buna funcționare a unui asemenea dispozitiv.

În cadrul celui de al doilea obiectiv principal, obiectivele formulate au fost:

1. Care dintre metodele de micșorare a concentrației de Radon pot fi aplicate
2. Care dintre metodele de micșorare a concentrației de Radon sunt mai eficiente
3. Analiza eficienței pentru diverse metode: depresurizarea sub podea (colector de radon), creșterea ventilației sub podea, presurizarea pozitivă, creșterea ventilației de interior, izolarea fisurilor și crăpăturilor din podea și pereți, aplicarea membranei care împiedică intrarea radonului.

Această teză este orientată către realizări practice, aceasta fiind datorată vocației mele ingineresti. Realizările practice, două variante de aparate de măsurare a Radonului, cu o construcție originală, brevetată și participarea activă la remedierile din zona Ștei Băița prin care s-a obținut o scădere semnificativă a concentrației de Radon sunt punctele forte ale tezei.

Structura tezei

Teza este structurată în 4 capitole, care conțin o prezentare a realizărilor mele într-o succesiune logică, atât ca desfășurare în timp cât și ca succesiune tehnică.

Capitolul 1, **Radonul** începe cu o scurtă introducere care arată ce este Radonul și care sunt riscurile expunerii în exces. Sunt amintite aspecte particulare ale tratării problemei în Comunitatea Europeană, în SUA și în România și sunt precizate limitele de expunere. Este expusă în continuare problema concentrației mari de Radon din zona Ștei Băița și a necesității măsurilor de remediere care au fost testate în capitolul 3. Folosirea materialelor radioactive provenite de la mina de uraniu „Băița” la construcția caselor și în structura fundațiilor a dus la o creștere a concentrației de Radon și a cauzat o creștere a incidenței cazurilor de cancer pulmonar. În a doua parte a primului capitol se descriu sumar câteva aparate electronice de măsură a concentrației de Radon în aer și sunt prezentate anumite caracteristici principale. Este descrisă sumar metoda măsurării cu detectori de urme iar la sfârșit se enumeră câteva patente în legătură cu măsurarea Radonului.

Capitolul 2, **Sistem de măsurare a concentrației de Radon în aer și transmisia datelor din locații multiple**, este un capitol de amploare, în care se concentrează o mare parte din realizările originale. Concepția și proiectarea a două variante de detector electronic de Radon sunt descrise detaliat, în succesiunea dezvoltării acestora. Au fost realizate simulări în PSPICE și SIMULINK cu care au fost comparate două metode de măsurare, una prin integrare și alta prin numărarea impulsurilor. Simulările au arătat că metoda prin numărarea impulsurilor este mai potrivită pentru măsurarea unor concentrații mici de Radon. Ca și traductor au fost luate în considerare și simulate camera de ionizare și camera de detecție cu element fotoelectric, care au fost simulate. A fost acordată atenție deosebită etajului de intrare cu două căi care asigură o imunitate bună la perturbații electromagnetice. Este descrisă apoi unitatea centrală cu microcontroller și afișajul digital pe care sunt afișate informații numerice și grafice asupra concentrației măsurate. Necesitatea de a trimite date la distanță a impus integrarea în aparat a mai multor dispozitive de comunicații, dintre care utilizatorul poate alege pe cel potrivit locației unde se măsoară Radonul. Cel mai utilizat sistem de comunicație a fost considerat sistemul GPRS de comunicație prin structura telefoniei mobile GSM, care face ca datele să fie accesibile în Internet. Sistemul de transmisie a fost completat cu un sistem GPS prin care aparatul de măsură comunică poziția sa geografică. Au fost realizate două variante de detector de Radon, una cu cameră de ionizare și una cu cameră de detecție și un program software care poate gestiona citirile mai multor aparate, odată cu poziția geografică a fiecăruia. Programul generează alerte dacă nivelul concentrației de Radon crește peste o anumită valoare admisă.

Capitolul 3, **Metode aplicate pentru micșorarea concentrației de Radon în aer**, este al doilea capitol de amploare în care se descriu metodele de remediere încercate în zona Băița Ștei la o casă pilot pentru reducerea concentrației de Radon sub valorile limită admise. Una dintre metodele de reducere a concentrației de Radon recomandată de EPA (US Environmental Protection Agency) constă în extragerea aerului de sub clădire și eliminarea lui în atmosferă de unde curenții de aer vor dispersa Radonul (EPA, 1992).

Metodele de reducere a concentrației de Radon cele mai eficiente sunt considerate a fi: depresurizarea sub podea (colector de radon), creșterea ventilației sub podea, presurizarea pozitivă, creșterea ventilației de interior, izolarea fisurilor și crăpăturilor din podea și pereți și aplicarea membranei care împiedică intrarea radonului. Pe de altă parte, la construcțiile noi cea mai eficientă metodă s-a dovedit a fi aplicarea membranei anti-radon pe suprafețele interne de la nivelul cărora exhalatia de radon depinde de caracteristicile arhitecturale ale fiecărei case selectate. Locuințele la care au fost aplicate măsurile de remediere au fost selectate în urma caracterizării complete a caselor investigate și cele la care concentrații de radon au fost mai mari de 600 Bq/m^3 . După caracterizarea completă din perspectiva profilului de radon a caselor investigate s-au efectuat rapoarte privind eficiența măsurilor luate. O parte a măsurătorilor au fost efectuate cu aparatele propuse de autor. Măsurătorile au fost realizate în paralel cu instrumente calibrate, standarde și materiale de referință cu cel mai înalt grad de încredere în conformitate cu orientările internaționale. Verificarea corectitudinii măsurătorilor a fost realizată prin măsurători cu detectori integrați pe perioade mari în doua sezoane pentru mărirea gradului de încredere în ceea ce privește evaluarea expunerii. Capitolul 3 conține modul de realizare a unui set de măsurători inițiale, realizarea remedierilor în cazul unei case pilot și verificarea eficienței fiecărei metode de remediere aplicate. Este prezentat apoi un sistem automatizat de monitorizare și control al concentrației de Radon alimentat cu panouri solare și rezultatele experimentale ale aplicării acestuia. A doua parte a capitolului tratează erorile de măsurare ale unui tip de detector de Radon datorită câmpului electromagnetic. Ca măsuri de protecție pot fi utilizate materiale și membrane conductive cu dublu rol, de micșorare a concentrației de Radon și a intensității câmpului electromagnetic. Cercetările sunt încă la început și autorul consideră că cercetările viitoare pot fi îndreptate în această direcție.

Capitolul 4, **Concluzii și principalele contribuții personale**, conține câteva concluzii și o enumerare a contribuțiilor personale, susținute de lucrările publicate.

Anexa 1, **Micșorarea concentrației de Radon prin presurizarea și depresurizarea solului**, cuprinde grafice relevante pentru experimentele de remediere realizate de autor dar care ar fi încărcat în mod inutil textul tezei în capitolul 3, de aceea au fost mutate în anexă.

Anexa 2, **Selecție cu lucrări reprezentative, indexate în baza de date ISI Web of Knowledge și IEEE Xplore** cuprinde extrase de pe site-ul ISI Web of Knowledge și IEEE Xplore care prezintă lucrările autorului.

Capitolul 1

Radonul

1.1. Radonul, efecte nocive

Expunerea unor grupuri importante de populație la radonul din interiorul locuințelor, riscurile de sănătate asociate, acțiunile de prevenire și remediere, continuă să fie o problemă importantă în țările europene și în zonele cu concentrații ridicate de radon din România. Radonul este un gaz inert din punct de vedere chimic, radioactiv, fără miros, culoare sau gust, având originea naturală în sol prin dezintegrarea uraniului și radiului. Gazul radon se poate răspândi cu ușurință din sol în aer și se dezintegrează în produșii cu durată scurtă de viață, numiți urmașii radonului (^{214}Po , ^{218}Po , ^{214}Pb și ^{214}Bi) (Cosma et al, 2009). Urmașii cu durată scurtă de viață se dezintegrează mai departe cu emisie de radiații puternic ionizate, denumite particule alfa, care pot fi încărcate electric și atașate la aerosolii, praful și alte particule în aerul pe care îl respirăm. Drept rezultat, urmașii radonului pot fi depozitați la nivelul celulelor tractului respirator, unde particulele alfa rezultate din dezintegrare pot induce leziuni materialului genetic (ADN) și pot cauza, în acest mod, apariția cancerului pulmonar (Cosma et al, 2009). Inhalarea urmașilor cu durată scurtă de viață ai radonului contribuie cu aproximativ 50% la doza efectivă totală primită de oameni de la radiația ionizată naturală în lume, conform UNSCEAR.

Principala probă epidemiologică privind rolul expunerii la radonul ocupațional în apariția cancerului pulmonar provine dintr-o multitudine de studii efectuate asupra minerilor de uraniu, staniu și minereu de fier, în special în Europa și America de Nord (Beir, 1999), (Lubin et al, 1994).

Analize comune ale mai multor studii din China, Europa și America de Nord au confirmat că radonul în case contribuie substanțial la apariția cancerului pulmonar (Pisa et al, 2001), (Tomasek et al, 2001) (Lubin și Boice, 1997) (Pershagen et al, 1994). Pe baza acestor studii, Agenția Internațională pentru Cercetarea Cancerului (IARC) a clasificat radonul drept carcinogen uman (IARC, 1988).

Pentru a determina efectul expunerii la radonul rezidențial asupra riscului de cancer pulmonar, cercetări recente ale unor studii europene și nord-americane (Field, 2006), (Darby et al, 2006) au demonstrat clar un risc crescut de cancer la plămâni atât pentru fumători, cât și pentru nefumători, chiar și în cazul concentrațiilor normale din interior de la 40 la 300 Bq/m³. Analiza comună recentă a unor studii europene cheie arată că 9% din decesele de cancer pulmonar pe an din Europa sunt datorate expunerii la radonul din interior (Darby et al, 2006) pentru 29 țări europene, la o expunere medie de 59 Bq/m³.

Expunerea la radon și urmașii săi, în locuință și la locul de muncă, constituie unul dintre cele mai mari, probabil cel mai mare, risc de radiații ionizate. O estimare a riscului conduce la mii de decese de cancer pe an datorate expunerii la radon și, în special, la produșii săi de dezintegrare. Totuși, radonul este un factor de risc care poate fi controlat și redus la costuri

rezonabile, salvându-se astfel multe vieți. Pentru a atinge acest scop este important ca autoritățile naționale să informeze publicul asupra riscurilor legate de radon, să adopte legislație și să emită instrucțiuni care să limiteze expunerea la radon și să recurgă la măsuri de remediere pentru locuințele cu concentrații ridicate de radon. Astfel de informații, respectiv legislație și metode de reducere a concentrației de radon vor fi emise pe baza rezultatelor științifice, ca urmare a cercetărilor efectuate și dovedirii eficienței metodelor de remediere (Åkerblom, 1999).

Este esențial ca statele europene să emită recomandări, reguli, directive sau legi cu privire la limitele de radon și practica în construcții pentru lupta împotriva radonului și pentru acțiunile viitoare de reducere a concentrației de radon în case și la locurile de muncă. Pentru a avea un efect semnificativ asupra problemei radonului, răspunsurile la chestionar arată că nivelele și regulile de referință ale radonului trebuie adoptate sau, în caz contrar, progresele legate de implementarea metodelor de reducere a riscului legat de expunerea la radon vor fi foarte mici. În multe țări au fost efectuate programe de cercetare pentru măsurarea și reducerea radonului în zonele de risc. Prin urmare, doar acele țări cu reguli adoptate au avut programe de succes, acțiunile de remediere fiind aplicate în mai mult de 10.000 de clădiri.

Comisia Internațională pentru Protecție Radiologică (ICRP), Organizația Mondială a Sănătății (WHO) și Agenția Internațională pentru Energie Atomică (IAEA) au încurajat în mod repetat țările să creeze programe de cercetare în domeniul radonului. Țările au fost încurajate, printre altele, să emită nivele de referință pentru radon în case și la locurile de muncă, să emită instrucțiuni pentru localizarea clădirilor cu radon, să se verifice dacă există riscul unor concentrații ridicate de radon înainte de începerea unei noi construcții și să se introducă limite pentru concentrațiile elementelor radioactive naturale în materialele de construcții. În 1990 Comisia Europeană a emis Recomandarea 90/143/Euratom pentru protecția publicului împotriva expunerii la radonul de interior. Recomandarea a identificat 400 Bq/m³ ca și nivel de considerare a acțiunii de remediere în casele existente și 200 Bq/m³ ca și nivel pentru casele noi (Commission of the European Communities, 2009).

Pentru casele existente se aplică nivelul de referință de 400 Bq/m³ de către statele membre Austria, Danemarca, Grecia și Suedia, precum și de țările europene non-EU precum Belarus, Estonia, Lituania, Norvegia, Polonia, Rusia, Republica Slovacă și Iugoslavia. Irlanda și Marea Britanie au nivele de referință de consultare de 200 Bq/m³, iar Luxemburg are un nivel de referință de consultare de 150 Bq/m³.

În România au fost efectuate doar măsurători regionale ale radonului de interior, acestea situându-se de la câțiva zeci de Bq/m³ la câteva mii de Bq/m³. Astfel de studii de măsurare a concentrațiilor de radon au fost în grija Institutelor de Igienă și Sănătate Publică din mai multe orașe, dintre care menționăm: București, Iași, Timișoara sau Cluj (Cosma et al, 2009).

Zona cu cele mai ridicate concentrații de radon din Transilvania este reprezentată de Ștei-Băița (Bihor), unde s-au înregistrat valori de până la 4000 Bq/m³. Timp de 15 ani, studiile de cercetare din zona Băița au fost conduse de Laboratorul de Radioactivitatea Mediului (Prof. Dr. Constantin Cosma și Grupul Radon) din cadrul Universității "Babeș-Bolyai". Zona Ștei-Băița (Bihor) include orașul Ștei și câteva sate (Băița Plai, Băița Sat, Nucet, Fânațe, Câmpani), cu un

număr total de locuitori de 16.300, localizată în Munții Bihor, în NV României, în vecinătatea minelor de uraniu "Avram Iancu" și "Băița". Folosirea deșeurilor de uraniu din minele de uraniu (funcționale în perioada 1950-1990) ca și material de construcție, construcția pe soluri cu permeabilitate mare și structura fundației care permite infiltrarea radonului de la nivelul solului în interiorul locuinței sunt principalele cauze ale concentrațiilor ridicate de radon înregistrate în această zonă. Majoritatea acestor clădiri rezidențiale au fost construite folosind deșeuri radioactive. Probleme similare se găsesc la apartamentele unde plăcile de la parter sunt în contact cu pământul și sunt localizate la distanța de 1 km de mina de uraniu (Băița Plai). Pe de altă parte, condițiile meteo au cauzat retragerea parțială a minereului de uraniu din stoc și deșeuri în apa Crișul Băiței și apoi apa s-a infiltrat în beciurile blocurilor de lângă mină. Mai mult, transportul minereului de uraniu fără respectarea standardelor de radioprotecție și perspectiva închiderii minei impun mai multe investigații pentru asigurarea protecției populației din zonă.

Rezultatele preliminare referitoare la concentrația de radon din zona Ștei-Băița arată o medie anuală de 234 Bq/m³, de 5,2 ori mai mare decât valoarea națională raportată, iar procentajul caselor cu concentrații mai mari de 500 Bq/m³ este de aprox. 30% (Cosma et al, 2009). S-a observat o creștere a incidenței cancerului pulmonar în zona Ștei-Băița (Bihor), după cum s-a menționat în publicațiile noastre recente despre cancerul la plămâni provocat de radon (Cosma et al, 2009). Totodată, un număr mare de case au fost identificate cu risc ridicat de radon. Pe baza rezultatelor obținute și datelor furnizate de Statistica Populației, pentru această zonă, s-a estimat că 25% din decesele de cancer pulmonar pe an sunt atribuite expunerii la radonul din interior. Evaluările curente sunt mai mari, dar rămân comparabile cu cele de 16% (5% până la 31%) estimate de studiile europene (Darby et al, 2006) și, de asemenea, cu cele de 11% (0 la 28%) raportată în analiza combinată a studiilor nord-americane (Field et al, 2006).

Sănătatea este afectată semnificativ de poluarea mediului, astfel încât rata mortalității este mai mare decât în alte regiuni, rata apariției cancerului la plămâni este, de asemenea, mai mare și speranța de viață se reduce cu câțiva ani. Situația critică impune ca măsurile de remediere să fie luate în considerare. Scopul aplicării acestor măsuri nu este doar acela de a reduce nivelul de radon din interior și crește în acest fel speranța de viață pentru locuitorii zonei de studiu, ci și acela de a face acest lucru cu un impact minim asupra structurii clădirilor și locatarilor. Pentru a avea o evidență sigură a locuințelor care necesită remedieri se impune efectuarea unei campanii de măsurare și monitorizare a radonului în toate casele din zona zona Băița-Nucet-Cîmpani.

Folosirea materialelor radioactive provenite de la mina de uraniu „Băița” la construcția caselor și în structura fundațiilor, alături de solurile cu niveluri ridicate de radon, reprezintă principalele surse ale concentrațiilor mari de radon măsurate în interiorul locuințelor tipice din arealul investigat. Utilizarea materialelor radioactive din minele de uraniu la construcția caselor și la consolidarea fundației reprezintă un fenomen nemaîntâlnit în alte zone similare din Europa.

1.2. Măsurarea concentrației de Radon în aer

În aerul de afară concentrația depinde de sol, curenții de aer etc. și alți factori. Riscul de îmbolnăvire este foarte mic. Concentrații mari se găsesc în jurul minelor de uraniu. În apă concentrația de Radon este mai mare la adâncime, concentrații mai mari fiind măsurate în apele rezidențiale. În clădiri concentrația este mai mare în subsol și la parter și depinde de în cea mai mare măsură de sol, materialele de construcție și izolarea față de sol. Tipul clădirii și materialele folosite precum și sistemul de ventilație afectează concentrația de Radon.

Metodele de măsurare sunt diferențiate după tipul de probe și scopul măsurării (Papp, 2011):

1. canistre cu lichid cu conținut de cărbune care absoarbe particulele rezultate prin dezintegrarea Radonului. Lichidul este analizat prin numărarea particulelor cu un numărător cu scintilație. Metoda necesită analiză în laborator.

2. Detectoare de particule alfa care sunt folii din plastic de mici dimensiuni care se expun pentru o perioadă mai îndelungată –1-12 luni (metode integratoare). Foliile sunt sensibile și înregistrează traiectoriile particulelor care sunt analizate în laborator.

3. Detector de ioni cu electret conține un disc de teflon încărcat electrostatic. Ionii generați de dezintegrarea Radonului modifică încărcarea și astfel sunt detectați.

4. Măsurarea cu aparate speciale care înregistrează particulele alfa prin diferite metode – cameră cu ionizare sau traductori semiconductori necapsulați și care afișează continuu valoarea măsurată.

Perioadele de măsurare pot fi:

1. scurte, între 2 zile și 3 luni, se efectuează în cel mai jos spațiu locuit, la cel puțin 50cm distanță de sol, departe de surse de căldură, ventilatoare sau surse de umiditate.

2. lungi, mai mari de 3 luni.

Aparatele înregistrează o concentrație medie de Radon prin integrarea măsurătorilor. Câteva aparate sunt descrise în continuare:

1. Aparatul produs de National Safety Products (USA). Modelul anului 2006 măsoară concentrații între 0,1 și 999,9pCi/l. Acest aparat este utilizat de inspectorii de mediu, consultanți și persoane particulare. Senzorul folosit este o cameră de ionizare alimentată cu 250V DC în care particulele alfa produc un impuls numărat de sistemul digital de procesare al aparatului. Partea soft transformă indicația traductorului în concentrație de particule. Măsurătorile pot fi pe termen scurt (7 zile) și pe termen lung (maximum 5 ani, după care are loc un Reset). Media concentrației se afișează în fiecare oră. Depășirea unui anumit prag al concentrației de Radon are ca efect pornirea unei alarme. Aparatul este avizat d.p.d.v. constructiv de UL și CSA.

2. Aparatul produs de GT Analytic, numit Ramon 2.2. Ca traductor, acest aparat folosește un element semiconductor. Aerul care conține Radon difuzează în camera de detecție și particulele alfa emise sunt detectate de elementul semiconductor. Precizia de măsurare este de sub 10% ceea ce se încadrează atât în cerințele EPA cât și în cele ale CE. Afișarea este în Bq/m³, valoarea maximă măsurată este 9999Bq/m³ iar valoarea cea mai mică 1Bq/m³. Aparatul este

certificat TUV. Aparate de la același furnizor, dedicate aplicațiilor profesionale și având prețuri cu un ordin de mărime mai mare sunt Radim 3A pentru măsurarea Radonului în aer și Radim 3W pentru măsurarea în apă. Senzorul este semiconductor, aparatul poate lucra alimentat de la rețea dar și de la acumulatori și este echipat cu o interfață RS232 pentru cuplarea la calculator.

3. Un aparat de măsură portabil, Radim 5 poate funcționa până la 150 de zile cu alimentare de la baterii. 3. Un aparat mai complex care conține de asemenea interfață cu calculatorul este Alpha II al firmei Diversified Research, figura 1.7.:

4. Sistemul cu electreți de la firma RAD ELEC Inc. Electreții sunt discuri de teflon care se încarcă electric. Electreții se introduc într-o cameră de ionizare care asigură în interior un câmp electric. Particulele ionizate sunt deviate în câmp electric către electreți iar la ciocnire sarcina electrică a electretului se modifică. Un aparat de măsură numără aceste modificări și rezultatele se afișează.

Ca și traductor pentru aparate de măsură electronice se poate utiliza camera de ionizare. Camera de ionizare este o incintă închisă, de diferite forme (apropiate de forma cilindrică) în care se găsesc doi electrozi plan paraleli și aer în condiții normale sau cu circulație forțată. Electrozii formează un condensator plan. Atomii de Radon vor produce prin descompunere ionizarea aerului iar particulele ionizate vor produce în circuitul exterior un curent măsurabil. Atunci când la electrozii camerei se aplică o tensiune continuă, în interiorul camerei apare un câmp electric care direcționează ionii către electrozi. În lipsa câmpului electric ionii au o mișcare dezordonată. Ionizarea produsă de descompunerea unei particule radioactive produce în exterior apariția unui curent mic care dă naștere unei tensiuni pe o rezistență. Apare un impuls de tensiune care poate fi vizualizat sau achiziționat și înregistrat cu un sistem electronic de măsurare. Pentru măsurarea numărului de particule de Radon din aer este necesară realizarea unei surse de polarizare a camerei de ionizare cu tensiune variabilă pentru a se putea stabili tensiunea optimă pentru detecție.

Capitolul 2

Sistem de măsurare a concentrației de Radon în aer și transmisia datelor din locații multiple

2.1. Sistemul de măsurare cu cameră de detecție

A fost conceput un aparat de măsurare a Radonului în aer cu structură modulară ca să poată fi adaptat unei game largi de aplicații. De asemenea a fost conceput un sistem de transmisie de date pe mai multe căi care poate fi ales în funcție de locul în care se face măsurarea. Schema bloc a aparatului este dată în figura 2.1.

Principalele caracteristici constructive ale aparatului sunt:

1. S-a optat pentru utilizarea unui microcontroller ATMEL Atmega 16, cu performanțe suficiente pentru această aplicație și cu un preț scăzut. Un alt aspect important avut în vedere a fost că microcontrolerele din familia ATMEL AVR sunt mai răspândite la noi în țară și în ipoteza unei producții de serie problema aprovizionării este mai ușoară. Dispozitivul conține un afișaj grafic local pe care se poate afișa concentrația de Radon în aer și se poate face un grafic sumar.

2. Pentru o mai mare flexibilitate structura aparatului este modulară. Aceasta înseamnă că în varianta construită include un modem GSM-GPRS dar microcontrollerul permite (are interfața hardware și software) să se conecteze un modem de linie telefonică în exterior. De asemenea circuitul analogic permite lucrul cu camera de detecție din interior dar permite și cuplarea unei camere de ionizare în exterior.

3. Sistemul de transmisie a fost conceput astfel încât mai multe dispozitive de măsurare să fie conectate la un server de date care achiziționează date și le centralizează. Programul software avertizează dacă concentrația de Radon depășește o anumită limită. Realizări similare sunt cele descrise în (Yamamoto et al, 1998) și (Roca et al, 2004).

4. Portabilitatea aparatului este asigurată de faptul că alimentarea se face cu un acumulator de 12V. Acumulatorul poate fi încărcat de la rețea.

5. Pentru ca datele să fie comunicate în momente de timp precise s-a adăugat un modul de recepție GPS care interpretează datele referitoare la timp din semnalul GPS.

6. Au fost implementate două metode de măsurare:

- prin integrare
- prin numărarea impulsurilor

Cele două metode vor fi analizate în continuare în acest capitol.

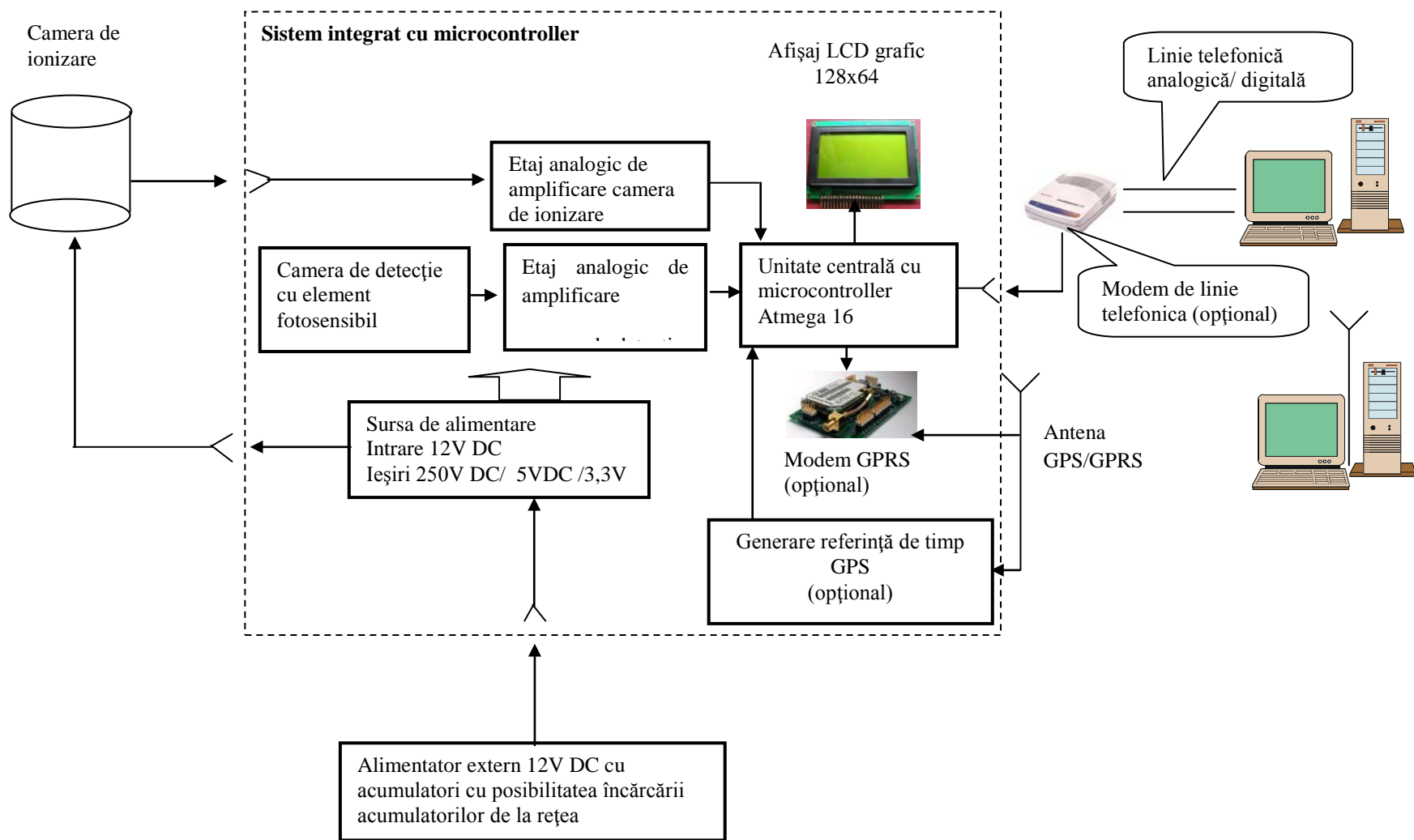


Fig. 2.1. schema bloc a aparatului de măsurare a Radonului (schemă originală)

Camera de detecție este prezentată în figura 2.2:

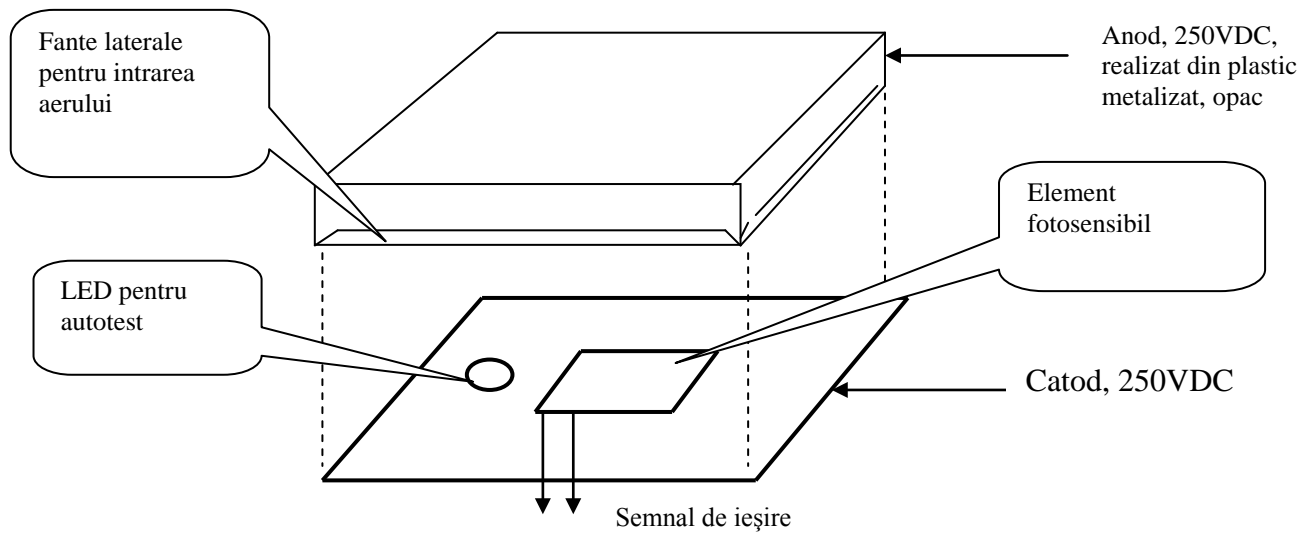


Fig. 2.2. camera de detecție (desen original)

În interior se creează un câmp electric puternic. Particulele radioactive lovesc suprafața fotosensibilă și dau naștere unui semnal electric la ieșire (Noto et al, 2002). Înainte de utilizare se face un autotest al funcționării prin aprinderea unui LED (intensitate luminoasă foarte mică) și măsurarea semnalului de ieșire. Se compară valorile citite cu cele de referință și dacă sunt în gama de precizie acceptată începe măsurătoarea. Dacă nu se afișează un cod de eroare. În lipsa iluminării semnalul citit trebuie să fie apropiat de zero (într-un interval programat), dacă nu, zgomotul apărut poate fi datorat interferențelor electromagnetice. Se afișează un cod de eroare și se indică utilizatorului îndepărtarea surselor de câmp electromagnetic

Ecuția de mișcare a electronilor în câmp electric uniform (Sandu, 1973) este descrisă de relația:

$$m \frac{dv}{dt} = qE \text{ unde } m \text{ este masa electronului și } q \text{ sarcina electrică} \quad (2.1)$$

Efectuând calculele se obține traiectoria electronului:

$$y = -\eta \cdot E \frac{x^2}{2 \cdot v_0^2 \cdot \cos^2 \theta} + x \cdot \operatorname{tg} \theta \quad (2.2)$$

Pentru a simula comportarea electronului în câmp electric considerăm: sarcina elementară: $q=1.602 \ 176462(63) \times 10^{-19}$ C, masa electronului: $m=9.10938188(72) \times 10^{-31}$ kg, viteza electronilor aproximativ 104 m/s, intensitatea câmpului electric în camera de ionizare aproximativ 2500V/m. Cu aceste date se poate face o simulare Matcad care să arate modificarea traiectoriei în funcție de unghiul de intrare a electronului în câmp. Electronii vor fi direcționați către fotoelement / electrod indiferent de unghiul de incidență. Simulările sunt valabile pentru comportarea particulelor încărcate și în camera de ionizare și în camera de detecție. În camera de detecție câmpul din interior orientează particulele încărcate către un element fotosensibil. O celulă fotovoltaică este o joncțiune pn cu concentrații relativ mari de impurități pentru a micșora

rezistența electrică. Regiunea supusă iluminării este subțire pentru a permite luminii să ajungă la regiunea de trecere. Dacă celula se află în întineric la bornele ei nu apare nici o tensiune, celula fiind în echilibru termodinamic. Dacă lumina cade pe suprafața celulei fotonii penetrează zona subțire și generează perechi electroni gol care datorită câmpului electric intern E din regiunea de trecere sunt orientați - golurile spre regiunea p și electronii spre n. Dacă apar electroni accelerați în câmp electric și aceștia penetrează zona n și vor participa la acumularea de sarcină. Acumularea de sarcină dă naștere unei diferențe de potențial la borne care la scurtcircuitarea celulei generează un curent datorat recombinărilor electron gol. În acest caz tensiunea la borne V_f devine 0 și echilibrul termodinamic este refăcut. Curentul de scurtcircuit I_f este proporțional cu intensitatea fluxului luminos sau al fluxului de electroni.

Caracteristicile statice permit realizarea unui model simplificat, figura 2.3:

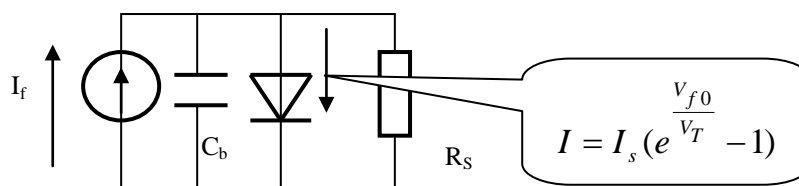


Fig. 2.3. modelul celulei fotovoltaice (model clasic)

Modelul celulei fotovoltaice va fi utilizat pentru aprecierea performanțelor cele două metode luate în discuție pentru măsurare. Măsurarea nivelului de radiație, deci a numărului de particule radioactive poate fi realizată în două feluri:

- prin integrare, se măsoară nivelul tensiunii la ieșirea unui integrator, nivel proporțional cu numărul de particule din incintă
- prin numărarea vârfurilor de tensiune, deci a numărului de particule.

2.2. Sistemul de măsurare cu cameră de ionizare

Camera de ionizare este elementul sensibil la prezența radonului, și este alcătuită ca în figura 2.4 din incinta camerei (1) care este un cilindru metalic prevăzut la un capăt cu orificii de intrare și ieșire a aerului ce poate conține Radon, și dispozitivul de reglare și etalonare a camerei (2, 5). Camera mai cuprinde dispozitive electroizolante de fixare (10, 11) pentru cilindrii (8) cu electrozi tip grilă disc (7) conectați la bornele de alimentare (3) cu tensiune continuă de valoare mare. Între electrozii (7) sunt montați pe poziție fixă electrozii (6) tip grilă disc în contact galvanic cu incinta metalică a camerei. Prin centrul incintei (1) este montată conducta cilindrică (4) prin care este introdus aerul în cameră. În funcționare aerul este introdus prin conducta cilindrică (4) conform traseului marcat prin săgeți de către o pompă volumetrică și ajunge la baza incintei, fiind forțat să treacă printre grilele disc (7, 6) între care se formează un câmp electric optim pentru detectarea particulei de radon ce produce ionizarea spațiului dintre grile. Distanța dintre grile se alege convenabil în concordanță cu energia particulei ionizate și o minimă tensiune de alimentare a grilelor de detecție, aceasta realizându-se cu dispozitivul (2, 5).

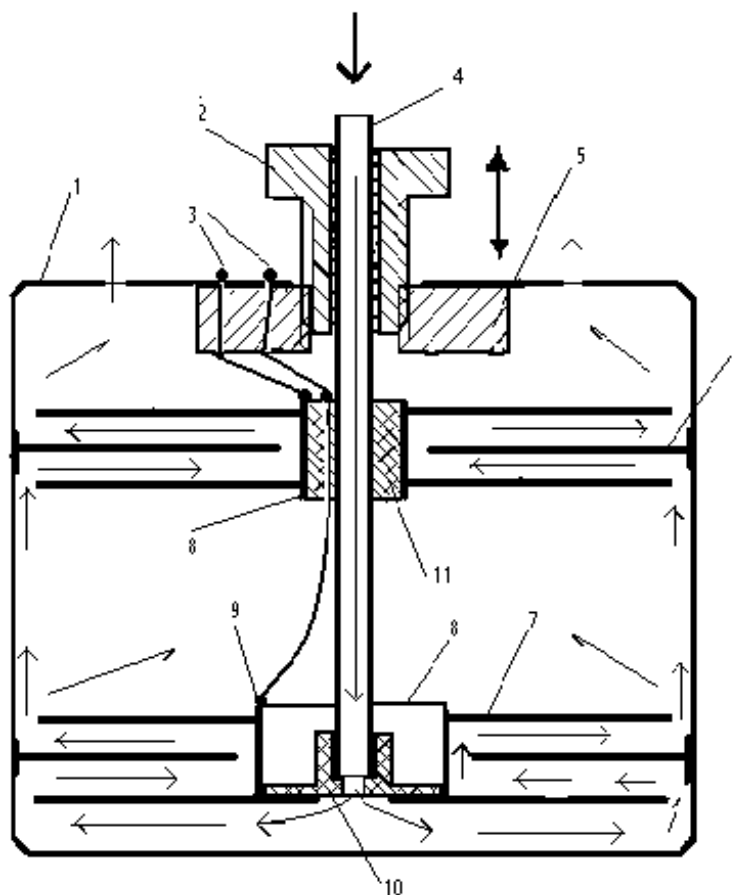


Fig. 2.4. Structura camerei de ionizare (structură originală)

Printr-o etalonare corectă care trebuie să ia în calcul volumul de aer pe care îl prelevează pompa, distanța între grile și diferența de potențial dintre ele, se obține o selectivitate mare a camerei. Camera este prevăzută cu două niveluri de selectare, alimentată prin conexiunile (3) cu tensiuni diferite pentru creșterea sensibilității detecției. (opțional se pot atașa mai multe niveluri de selectare). După ce aerul parcurge traseul indicat de săgeți în interiorul camerei, este evacuat prin orificiile periferice din partea superioară.

Semnalul cules de camera de ionizare este sub formă de impulsuri de descărcare prin ionizare și este preluat de un etaj analogic, apoi de microcontroller care numără impulsurile și afișează rezultatele.

Procedura de măsurare a fost realizată special pentru a asigura o mai mare imunitate la perturbațiile exterioare și este special concepută pentru a gestiona structura hardware de preluare a impulsurilor prin două canale descrisă anterior. Procedura de măsurare are mai multe etape:

1. Procedura de numărare a impulsurilor

Impulsurile au o durată și o amplitudine cunoscute pentru descărcarea unei particule de Radon. Microcontrollerul verifică impulsul primit ca durată și îl numără doar dacă durata lui este cea așteptată, între anumite limite, conform diagramei din figura 2.5:

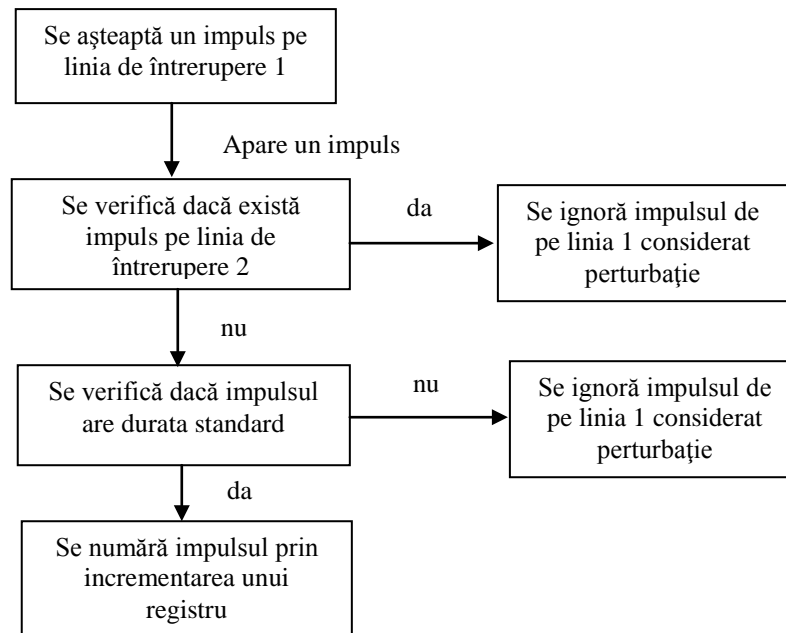


Fig. 2.5. procedura de numărare a impulsurilor (schemă logică originală)

După fiecare incrementare registrul este salvat în EEPROM pentru ca o întrerupere a tensiunii de alimentare să nu afecteze rezultatul măsurătorii. Dacă microcontrollerul are putere de calcul mai redusă salvarea se face doar la sfârșitul unei ore.

Procedura de totalizare și afișare asigură totalizarea impulsurilor după fiecare oră, timpul fiind generat de microcontroller sau este citit prin sistemul GPS. După o oră concentrația de Radon obținută prin mediere cu valoarea măsurată anterior este afișată și transmisă la distanță. Procedura de atenționare este implementată pentru a trimite mesaje de avertizare dacă concentrația de Radon în aer depășește repetat valorile anterioare. Se programează în microcontroller numărul N1 de citiri din care se face media de referință (o medie a concentrației de Radon pe N1 ore), numărul N2 de citiri care depășesc media de referință și D procentul de depășire pentru care se emite avertizarea. N1, N2 și D se stabilesc experimental.

2.3. Măsurarea prin integrare

Modelul măsurării prin integrare realizat în Simulink este dat în figura 2.6.

Un generator de impulsuri simulează apariția unei particule radioactive cu frecvența de o particulă/ 10ms, amplitudinea de 10^{-7} A și durata 0,01% din perioadă, adică $10\mu s$. Zgomotul este simulat printr-un generator de numere aleatoare, amplitudinea zgomotului fiind de 10^{-8} A. Fotocelula este simulată printr-o sursă de curent iar rezistența de sarcină este de $10M\Omega$.

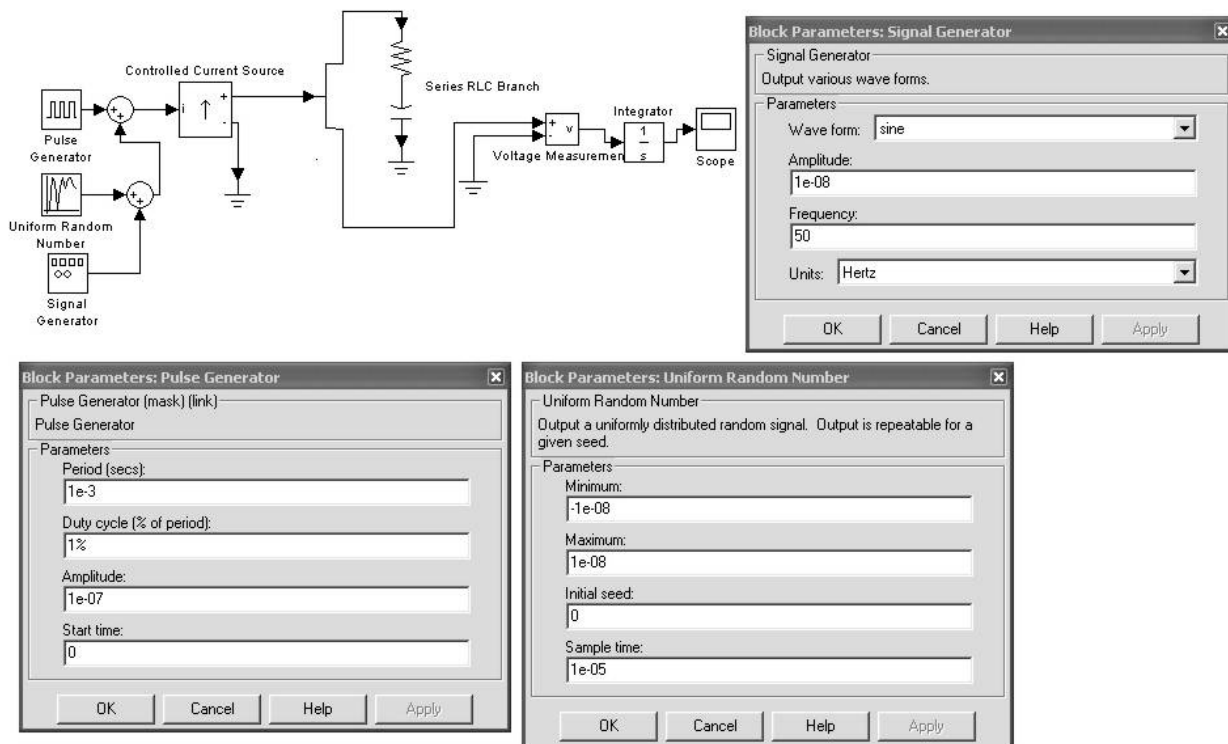


Fig. 2.6. modelul măsurării prin integrare (simulare originală)

În figura 2.7 sunt prezentate rezultatele după integrare (perioada 0,1ms, adică 10 particule/ms, durata impulsului $10\mu\text{s}$). Valoarea finală a tensiunii are o eroare de 0,1% introdusă de zgomot. În stânga este prezentat tot intervalul de timp de integrare iar în dreapta intervalul de timp final.

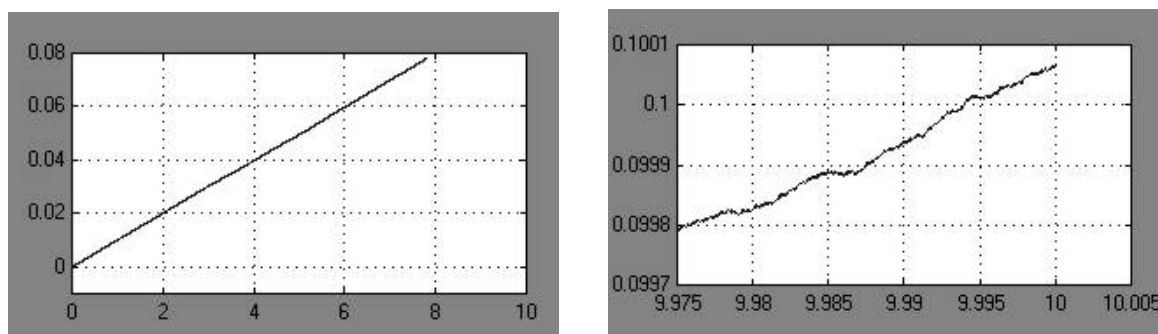


Fig. 2.7. tensiunea după integrator (perioada 0,1ms, durata impulsului $10\mu\text{s}$) (simulare originală)

În cazul unei concentrații mici de gaz, adică o particulă la 100ms eroarea devine deja de 60%, inadmisibil de mare. Eroarea este cu atât mai mare cu cât frecvența impulsurilor este mai mică (mai puține particule în timp). De asemenea eroarea este cu atât mai mare cu cât durata și amplitudinea impulsurilor sunt mai mici (evident eroarea depinde de energia impulsurilor).

Pentru a constata cum se manifestă influența tensiunii rețelei la intrare se însumează un semnal sinusoidal cu frecvența de 50Hz și amplitudinea de 10% din cea a semnalului util. Semnalul este figurat fără integrare și cu integrare în figura 2.8:

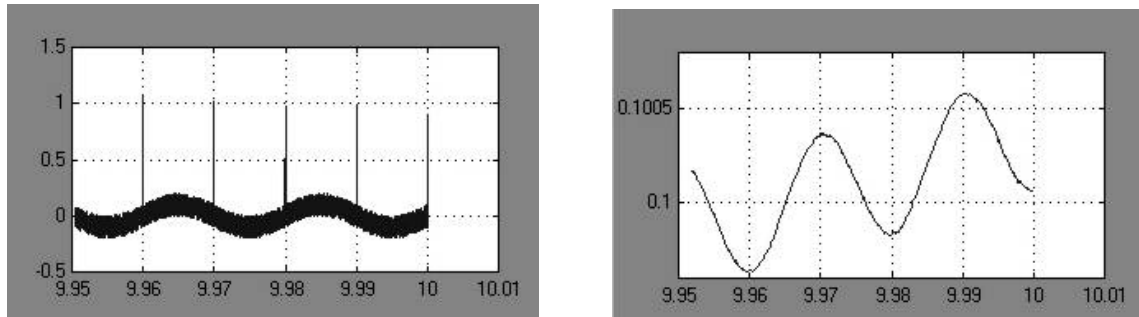


Fig. 2.8. tensiunea înainte de integrator (stânga) și după integrator (dreapta) (simulare originală)

Comparând semnalele cu cele din figura 2.7 (perioada 0,1ms, durata impulsului 10 μ s) se observă că tensiunea la sfârșitul perioadei de integrare are aceeași valoare și că adăugarea semnalului perturbator sinusoidal nu deteriorează rezultatul măsurării. Dacă perioada de integrare este aleasă ca multiplu al perioadei semnalului perturbator periodic se constată rejecția acestei perturbații. Dacă s-ar fi măsurat tensiunea pe integrator la momentul 9,99s atunci valoarea ar fi fost 0,1006 și eroarea ar fi fost de 0,6%, mai mare de 6 ori decât în lipsa acestei perturbații.

Un model al integratorului folosind o capacitate de integrare este dat în figura 2.9:

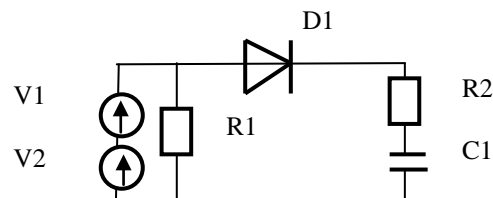


Fig. 2.9. modelul simplificat PSpice al integratorului (model original)

Sursa de tensiune V1 simulează semnalul furnizat de senzor în care apariția unei particule încărcate determină apariția unui impuls cu durata de 5ms, o dată la o secundă cu amplitudinea de 500mV. Perturbația este un semnal sinusoidal cu frecvența de 50Hz și amplitudinea 1/10 din amplitudinea semnalului util. Condensatorul de integrare C1 este de 1mF și dioda D1 este o diodă fără tensiune de prag. Nivelele de tensiune de pe condensator în situația perturbată sunt 179,5mV la 500s și 146,2mV la 250s, ceea ce înseamnă că diferența de amplitudine față de situația neperturbată este de 20%. Integratorul cu condensator nu a redus nivelul perturbației, spre deosebire de integratorul ideal simulat în Simulink.

Prin rularea câtorva teste de achiziție s-a constatat o instabilitate a valorilor de la ieșirea convertorului analog/digital din componența microcontrollerului care influențează negativ precizia măsurătorilor.

Metoda statică de testare a constatat din măsurări succesive a semnalului furnizat de convertor cu intrarea lui analogică conectată la masă și trimiterea datelor la calculator pentru analiză. Interfațarea cu calculatorul s-a realizat prin standardul serial RS232, datele fiind primite de un program specializat de citire a portului serial. S-au urmărit eșantioanele obținute și s-a detectat o influență puternică din partea conexiunii seriale. Peste semnalul util care ar trebui să fie constant și egal cu valoarea zero se suprapune un zgomot aleator. Se pot observa și deviații de la valoarea de nul de mărimea a 7 LSB ceea ce este echivalent unei variații de $7 \times 4,88\text{mV}$ adică $34,16\text{mV}$ aceasta fiind inacceptabilă în cazul măsurării radonului. Prin urmare este nevoie de filtrarea semnalului analogic sau medierea digitală.

Analiza semnalului analogic furnizat de senzor arată că zgomotul apărut la intrarea convertorului poate fi micșorat prin ecranarea traseului de intrare. Se constată că mărimea și frecvența impulsurilor nedorite este mult redusă. Așezarea în imediata vecinătate a traductorului cu integratorul și cu microcontrollerul este esențială în acest tip de aplicație.

Ca și filtrări software, cea mai simplă este filtrarea prin mediere care constă în eșantionarea semnalului cu o frecvență mărită și calcularea eșantionului curent prin medierea mai multor eșantioane preluate timp de o milisecundă.

$$y_j = (x_{j*N+1} + x_{j*N+2} + x_{j*N+3} + \dots + x_{j*N+N}) / N \quad (2.3)$$

Unde :

N – numărul eșantioanelor luate timp de o milisecundă

Y – semnalul de ieșire din filtrul de mediere

X – semnal de intrare în filtru

Semnalul de ieșire este calculat din N eșantioane luate anterior, prin efectuarea unei medieri aritmetice asupra lor. La valori mari ale N algoritmul necesită putere mare de procesare. De exemplu pentru valoarea $N=50$ rata erorilor este mult redusă, doar 4-5 eșantioane eronate. Sigur această performanță poate fi atinsă doar la folosirea la maxim a resurselor sistemului de procesare, lucru care este inacceptabil în majoritatea aplicațiilor, sistemul având și alte taskuri de executat în paralel. Se poate spune că principiul de măsurare prin integrare este superior din punctul de vedere antiperturbativ și prin faptul că permite o achiziție lentă și prin urmare microcontrollerul are timp să efectueze operația de mediere.

2.4. Măsurarea prin numărarea impulsurilor

O altă variantă de măsurare implică numărarea particulelor care sunt deviate spre elementul de detecție semiconductor. Semnalul generat de senzor la contactul unei particule ionizate este mic, așa încât este nevoie de o amplificare importantă. De asemenea zgomotele electromagnetice din mediu pot afecta numărarea.

Schema bloc a sistemului de măsurare cu microcontroller este dată în figura 2.10. Camera de detecție (de captură electrostatică) conține un fotoelement într-o incintă în care poate intra aerul. Incinta se află într-un câmp electric de valoare mare obținut prin aplicarea unei tensiuni de 250V DC.

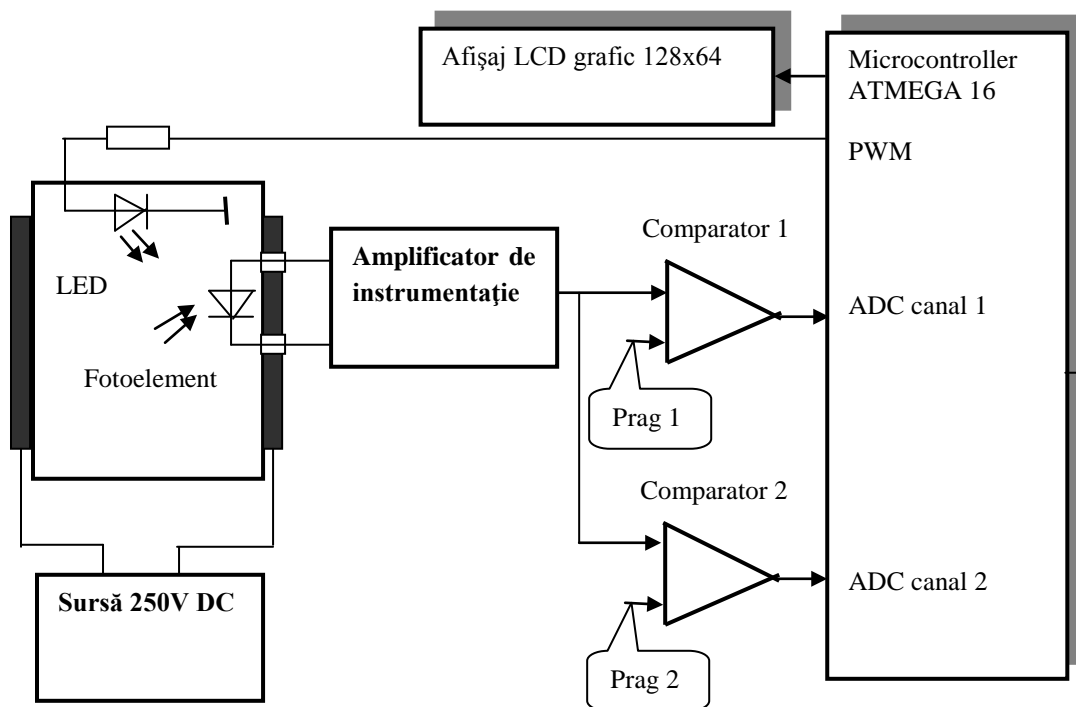


Fig. 2.10. schema bloc a sistemului de măsurare prin numărarea impulsurilor (concepție și implementare originală)

Particulele ionizate prin ciocnire incidente pe fotoelement dau naștere unui curent mic, amplificat de un amplificator de instrumentație. Nivelul semnalului de ieșire va fi mai mare decât cel al zgomotului și un circuit comparator 1 detectează depășirea pragului. Semnalul de ieșire este preluat de microcontroller pe o intrare analogică a unui convertor analog digital sau pe o intrare digitală de întreruperi externe. Etajul de intrare poate fi folosit și în cazul utilizării camerei de ionizare, mai puțin partea de calibrare.

Durata și amplitudinea unui impuls de curent depind de energia particulelor incidente pe fotoelement. Amplitudinea este mărită de amplificatorul de instrumentație dar durata rămâne mică. Pentru a putea realiza un aparat de măsurare portabil cu cost redus trebuie utilizat un microcontroller ieftin, de aceea se impune prelungirea lățimii impulsurilor cu circuite RC de diferențiere. Variația parametrilor mediului în care se realizează măsurarea precum și variațiile parametrilor componentelor electronice face ca măsurarea să fie afectată de erori și funcționarea aparatului să fie perturbată. Mediul electromagnetic agresiv este una dintre principalele cauze posibile. A fost implementat un mod de verificare a calibrării care constă dintr-un LED aflat în incinta de măsurare (în interiorul traductorului) alimentat de la un canal PWM al

microcontrollerului. Comparatorul 2 compară impulsul de ieșire cu un prag mai mare care poate fi atins doar când LED-ul luminează cu o intensitate mare. LED-ul este comandat să lumineze mai puternic la începutul măsurătorii pentru verificarea calibrării. Pe parcursul măsurării dacă se detectează un impuls dat de comparatorul 2 se consideră că acesta nu poate proveni decât de la o perturbație electromagnetică și se abandonează măsurătoarea prin afișarea unui mesaj de eroare.

Schema de simulare a măsurării este dată în figura 2.11:

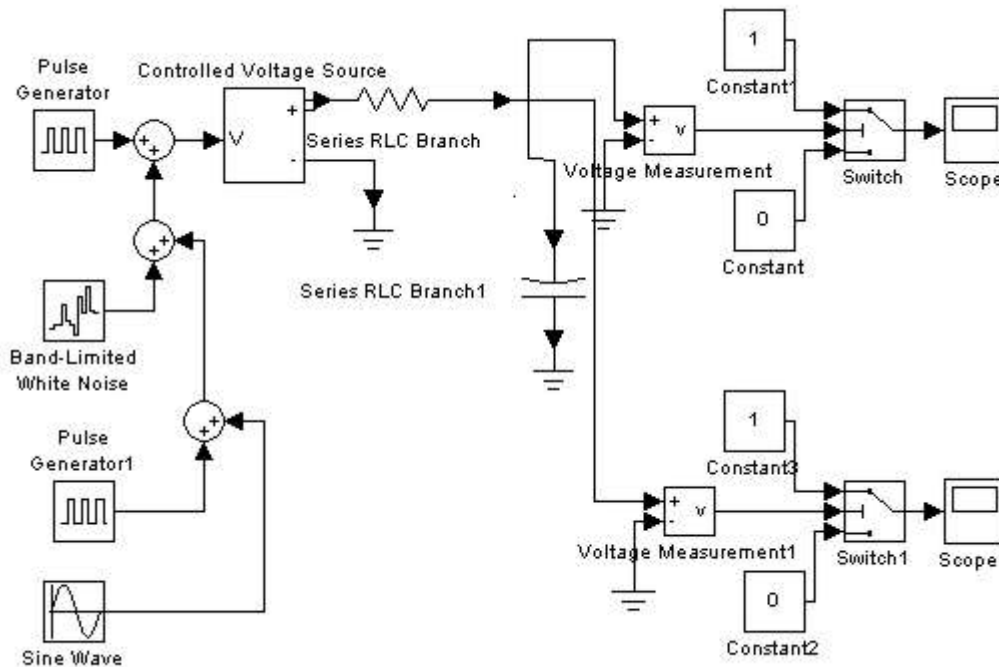


Fig. 2.11. schema de simulare a măsurării prin numărarea impulsurilor (model original)

Ca și la măsurarea prin integrare, cea prin numărarea impulsurilor este de regulă perturbată și pe lângă sursele de impulsuri utile se adaugă o sursă de zgomot aleator care simulează zgomotul intern al fotoelementului și o sursă sinusoidală care simulează perturbația de 50Hz care provine de la rețeaua industrială de curent alternativ. Un generator de impulsuri simulează impulsurile de amplitudine mică care provin de la o descărcare iar un generator de impulsuri simulează impulsurile de amplitudine mare generate la calibrare prin aprinderea LED-ului. Semnalul de intrare arată ca în figura 2.12.

Circuitele de diferențiere măresc durata impulsului iar circuitele de prag selectează impulsurile după amplitudine. Impulsurile de ieșire din comparatorul 1 și 2 sunt date în figura 2.13 stânga respectiv dreapta:

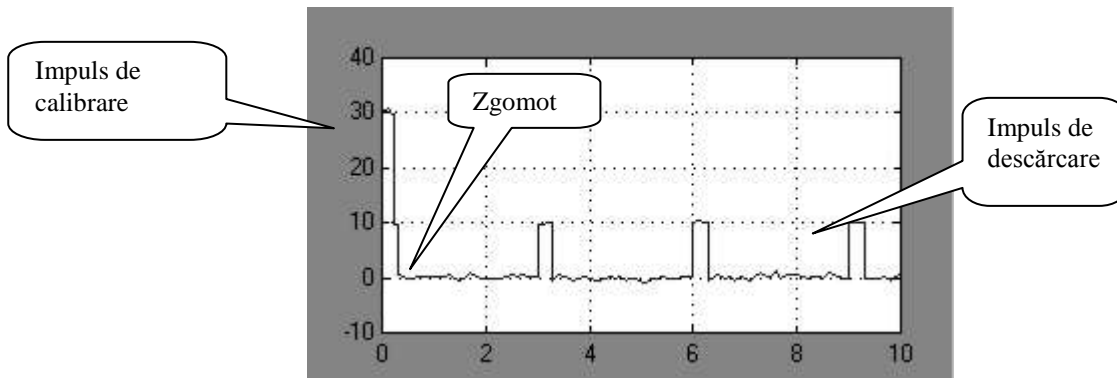


Fig. 2.12. impulsuri de intrare (original)

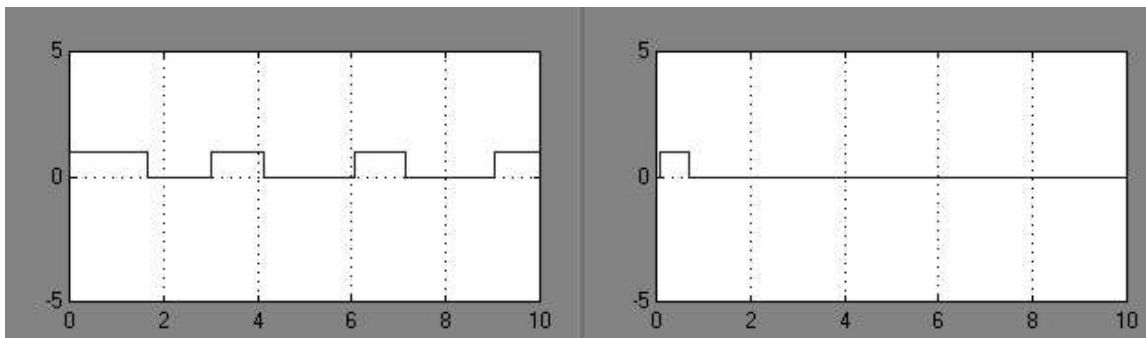


Fig. 2.13. impulsuri de ieșire (original)

Se poate observa că la ieșirea comparatorului 1 apar impulsurile de descărcare și cel de calibrare iar la ieșirea comparatorului 2 apare doar impulsul de calibrare.

O atenție deosebită trebuie acordată etajului de intrare care are sarcina de a amplifica semnale mici în prezența perturbațiilor electromagnetice.

Circuitul de amplificare este așezat în apropierea camerei de detecție / camerei de ionizare. La intrare circuitul are un amplificator operațional de instrumentație AD712. Amplificatorul de instrumentație este urmat de două etaje construite cu amplificatorul operațional cvadruplu LM324 care asigură semnalul necesar pentru ca ieșirea etajului să poată fi conectată la intrarea digitală a microcontrollerului. Etajul de amplificare cu LM324 este un etaj neliniar format din ramura superioară care dă la ieșire un număr de impulsuri proporțional cu amplitudinea semnalului și ramura inferioară care dă impulsuri doar dacă amplitudinea semnalului este mai mare decât o valoare de prag. Valoarea de prag poate fi astfel aleasă încât amplificatorul să semnalizeze cu un impuls dat de ramura inferioară o eroare, adică apariția unui impuls cu o valoare energetică anormal de mare care nu poate proveni dintr-o descărcare ci datorită interferenței electromagnetice. Rezultatele simulării în SPICE arată că, la o amplitudine mică a impulsului de intrare, la ieșire apare un impuls la ieșirea ramurii superioare și nici un impuls la ieșirea ramurii inferioare:

2.5. Blocuri componente ale aparatului de măsurare a Radonului

Unitatea centrală cu microcontroller este o unitate cu structură clasică, în care, în afară de microcontrollerul ATmega 16 sunt prevăzute generatorul de tact, circuitul de RESET și circuitul de modificare de nivel MAX232 pentru interfața serială RS232 la care se vor conecta modulele GPRS, GPS și modemul de linie telefonică.

Implementarea interfeței sistem- utilizator s-a realizat cu un afișaj grafic cu cristale lichide suficient de mare pentru vizualizarea în mod grafic și în mod text a meniurilor de lucru și a rezultatelor. Pentru implementare s-a ales modulul DEM128064ASYH-LY care dispune de 128 coloane și 64 de linii și un număr de 8192 pixeli, suficienți pentru aplicația curentă.

Sursa de alimentare are rolul de a crea o tensiune continuă de 250V care formează câmpul electric în camera de detecție și în camera de ionizare. Circuitul integrat care stă la baza acestei aplicații este LM 3524, un generator de semnal PWM.

Transmisia la ore exacte poate fi realizată prin folosirea unui timer din microcontroller. În acest caz nu se transmite și poziția aparatului. Poziția și timpul pot fi aflate cu mare exactitate folosind sistemul GPS. Modulul GPS este un modul opțional în acest aparat și se poate monta la cerere. Interfața de cuplare cu microcontrollerul este interfața serială RS232.

În situația în care aparatul de măsurare a concentrației de Radon poate fi conectat pentru transmisia de date cu serverul prin linie telefonică, microcontrollerul poate transmite date prin intermediul unui modem. În general transmisia directă prin cablu și telefonia prin cablu sunt folosite din ce în ce mai puțin din cauza costurilor mai mari de instalare. În cazul conectării aparatelor de măsurare a Radonului această metodă poate fi rentabilă doar dacă în zona respectivă nu există semnal GSM.

Cea mai bună metodă din punctul de vedere al flexibilității și costurilor este metoda transmisiei prin telefonia GSM. Modulul GPRS utilizat a fost prima dată de tip GM862-GPRS, apoi modelul EZ10 construite de TELIT. Standardul GPRS (General Packet Radio Services) permite o conexiune directă între modemul GPRS și Internet prin pachete de date. Viteza maximă de transfer poate fi de maximum 171,2kbps.

Autorul a coordonat colectivul care a realizat un sistem software numit Radon Data Manager. Acesta permite preluarea de mesaje predefinite de la echipamentele implicate în măsurarea concentrației de radon conectate în sistemul GPRS realizat, interpretarea acestora și transmiterea datelor rezultate către un server MySQL, în vederea stocării într-o bază de date. Sistemul software înglobează trei interfețe, interconectate prin intermediul metodelor aplicației:

- Interfața grafică - permite utilizatorului să comunice cu sistemul software;
- Interfața server (serverul) – reprezintă legătura aplicației cu echipamentele care trimit mesaje predefinite serverului, utilizând stiva de protocoale TCP-IP și diferite tehnologii de acces la internet;
- Interfața client MySQL – asigură înregistrarea și actualizarea datelor în baza de date, prin tranzacții între interfață și un server MySQL 5.0 .

Radon Data Manager 1.0 permite la nivel de interfață grafică operațiuni de control al serverului și al conexiunii cu serverul MySQL, gestiunea echipamentelor implicate în procesul de măsurare și supravegherea activității sistemului software prin mesaje furnizate de metodele aplicației.

Cientul MySQL asigură tranzacțiile între Radon Data Manager și serverul MySQL utilizând mai multe metode implementate în sistemul software. Autentificarea la serverul MySQL este realizată printr-o metodă complexă ce asigură în același timp crearea bazei de date în cazul în care aceasta nu există, preluarea datelor de autentificare dintr-un fișier binar, permițând astfel autentificarea automată la serverul MySQL în momentul pornirii sistemului software, fără a mai fi necesară intervenția utilizatorului. La prima utilizare a sistemului RadonDataManager, este necesară introducerea de către utilizator a datelor de autentificare. În cazul în care datele sunt incorecte, fereastra pentru setarea datelor de autentificare va rămâne deschisă pentru introducerea altor date. Structura aplicației software și locul în procesul de măsurare și gestiune a măsurătorilor de Radon este arătat în figura 2.14:

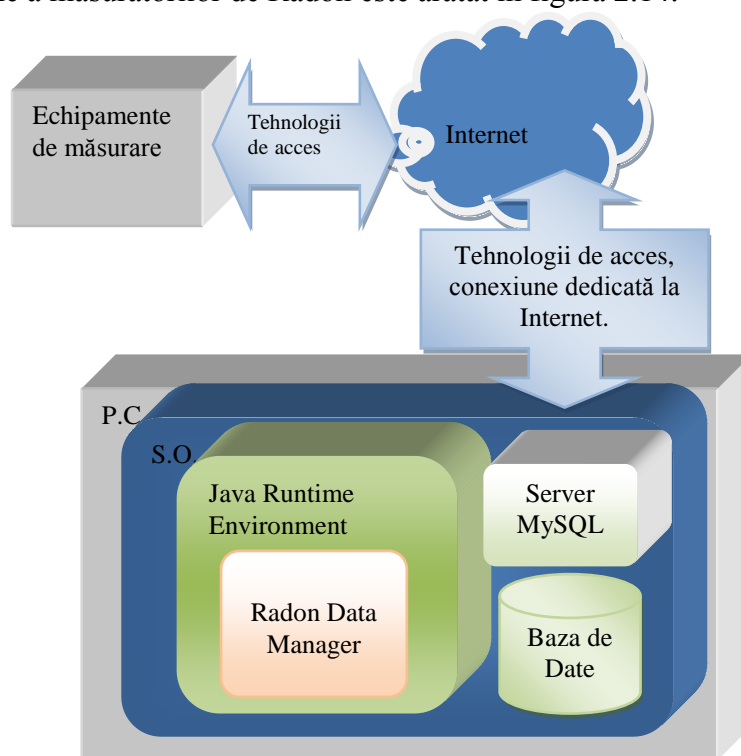


Fig. 2.14. Locul aplicației software în procesul de măsurare și gestiune a măsurătorilor de Radon (schemă originală)

Pentru funcționarea sistemului este necesar ca aplicația software să ruleze pe un calculator conectat permanent și dedicat la Internet prin diverse tehnologii de acces oferite de furnizorii de servicii. O conexiune dedicată la Internet implică o adresă IP fixă oferită prin contract de către un Internet Service Provider. Conexiunea permanentă poate fi susținută de un serviciu de acces la Internet cu un parametru QoS (Quality of Service) cât mai bun. Ecranul principal al aplicației conține mai multe ferestre prin care se pot identifica și gestiona

echipamentele conectate. Aparatele de măsură transmit timpul, coordonatele geografice și concentrația de Radon.

2.6. Rezultate experimentale

O fotografie cu o vedere de sus a aparatului portabil cu cameră de detecție realizat este dată în figura 2.15:

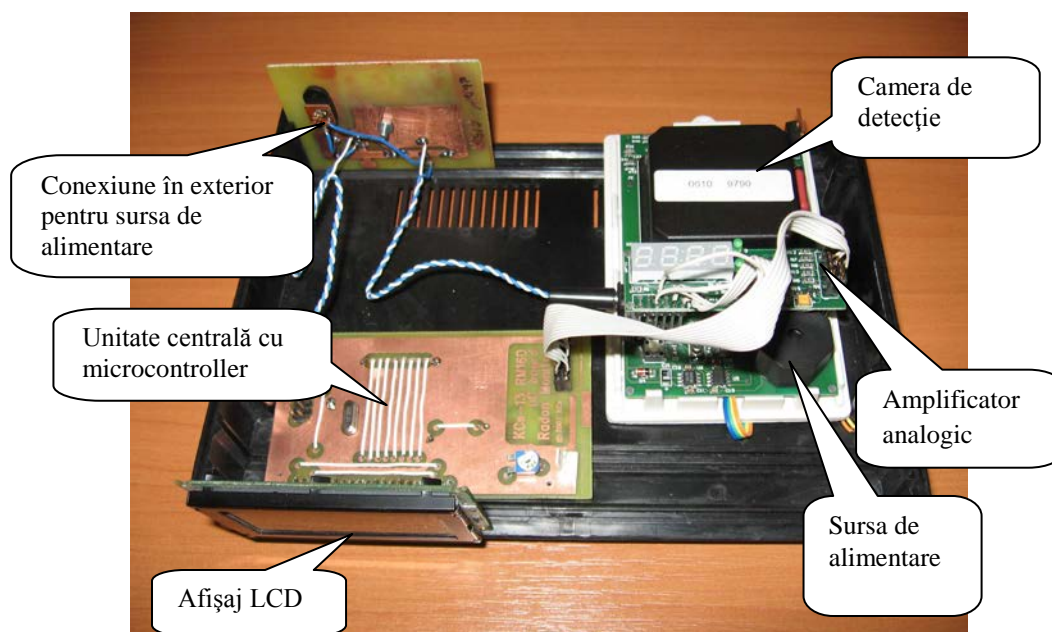


Fig. 2.15. aparatul de măsurare a conținutului de Radon în aer cu cameră de detecție (vedere de sus) (original)

O fotografie cu o vedere din față este dată în figura 2.16. Se observă indicația afișajului LCD grafic pe care este afișată concentrația de Radon în aer.



Fig. 2.16. aparatul de măsurare a conținutului de Radon în aer cu cameră de detecție (vedere din față) (original)

Aparatul de măsurare cu cameră de detecție, echipat cu modulul GPS/GPRS Telit EZ10 arată ca în figura 2.17:

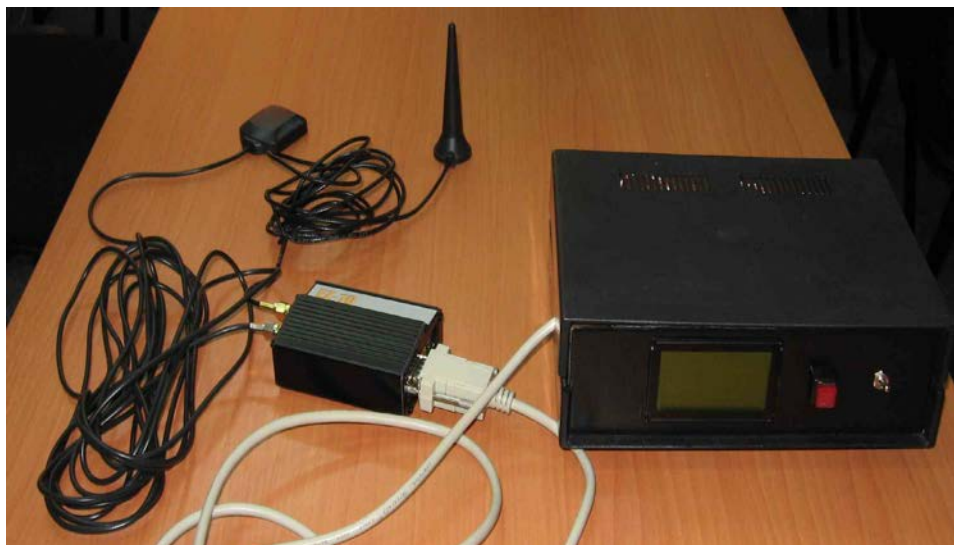


Fig. 2.17. Aparatul de măsurare cu cameră de detecție

S-au realizat determinări și cu camera de ionizare de la IFIN-HH, standul fiind arătat în figura 2.18:

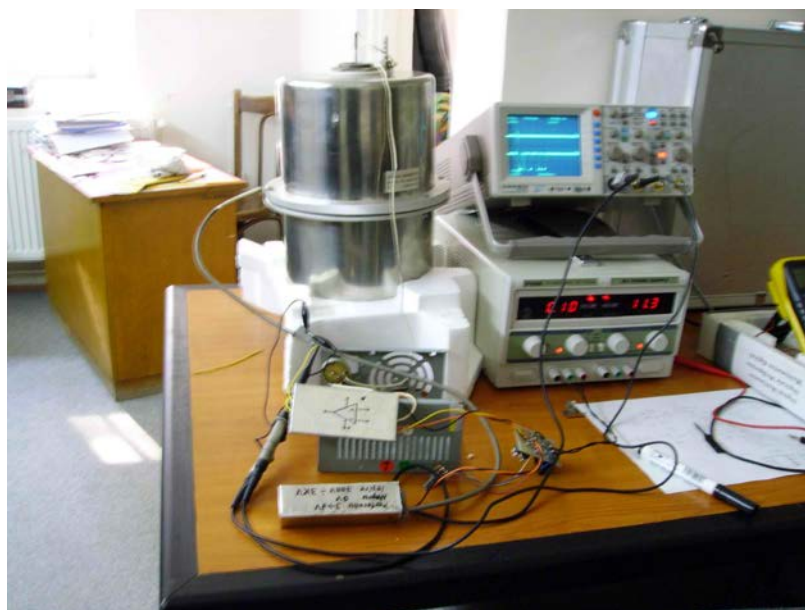


Fig. 2.18. stand de laborator pentru încercări cu camera de ionizare

Aparatul construit cu camera de ionizare propusă este în faza de etalonare și de încercări, aspectul interior fiind dat în fotografia din figura 2.19. Testele efectuate pe o perioadă mai lungă (2 luni) au urmărit relația între valorile date de aparatul propus și un detector electronic Safety Siren 2, figura 2.20:



Fig. 2.19. aparatul de măsurare a concentrației de Radon cu cameră de ionizare, vedere în interior (original)



Fig. 2.20. aparatul de măsurare a concentrației de Radon cu cameră de ionizare, în teste alături de un aparat Safety Siren 2 și un contor Geiger Muller (original)

Capitolul 3

Metode aplicate pentru micșorarea concentrației de Radon în aer

3.1. Construirea și recondiționarea locuințelor pentru a asigura scăderea concentrației de Radon în zona Băița

3.1.1. Măsurarea concentrației de Radon înainte de remediere

Casa **Fânațe 116 A** a fost selectată pentru remediere pe baza măsurătorilor integrate de radon efectuate în două campanii în anul 2011 care arată o concentrație mare a Radonului, peste limitele admise. Rezultatele măsurătorilor sunt prezentate în tabelul 3.1.

Tabelul 3.1. Rezultatele măsurătorilor integrate de radon în cele două campanii din anul 2011, respectiv concentrația medie anuală, la casa Fânațe 116 A

Camera	Concentrația de radon (Bq/m ³)		
	Campania 1 (dec-feb)	Campania 2 (mar-apr)	Anuală
Dormitor 1	1013	601	680
Dormitor 2	1600	1590	1395
Sufragerie (living)	-	649	649
baie	-	726	726

Casa familială Fânațe 116 A s-a construit între anii 1976 și 1978 și este o casă cu parter, cu pivniță dedesubtul dormitorului 1, figura 3.1. Materiale de construcții folosite au fost cărămidă, piatră, nisip și balast de pe Criș, piatră din zona minei vechi (Băița-Plai) și cărămidă. Toată casa a fost renovată recent.

Pentru identificarea scăpărilor de radon dintre subsol și clădire au fost efectuate măsurători de concentrații de radon din probe de aer prelevate din fisurile din podea. Rezultatele măsurătorilor continue efectuate cu aparate de radon în camerele investigate sunt reprezentate în fig. 3.1, și statistica descriptivă a rezultatelor este prezentată în tabelul 3.2.

Tabelul 3.2. Statistică descriptivă a rezultatelor măsurătorilor continue de radon de interior (minima, maxima și media).

Cameră	Concentrație radon (Bq/m ³)		
	minima	maxima	media
Dormitor 1	67	578	330
Dormitor 2	188	1425	889
Living	100	546	333
Baie	56	731	395
Pivniță	25	2874	1131

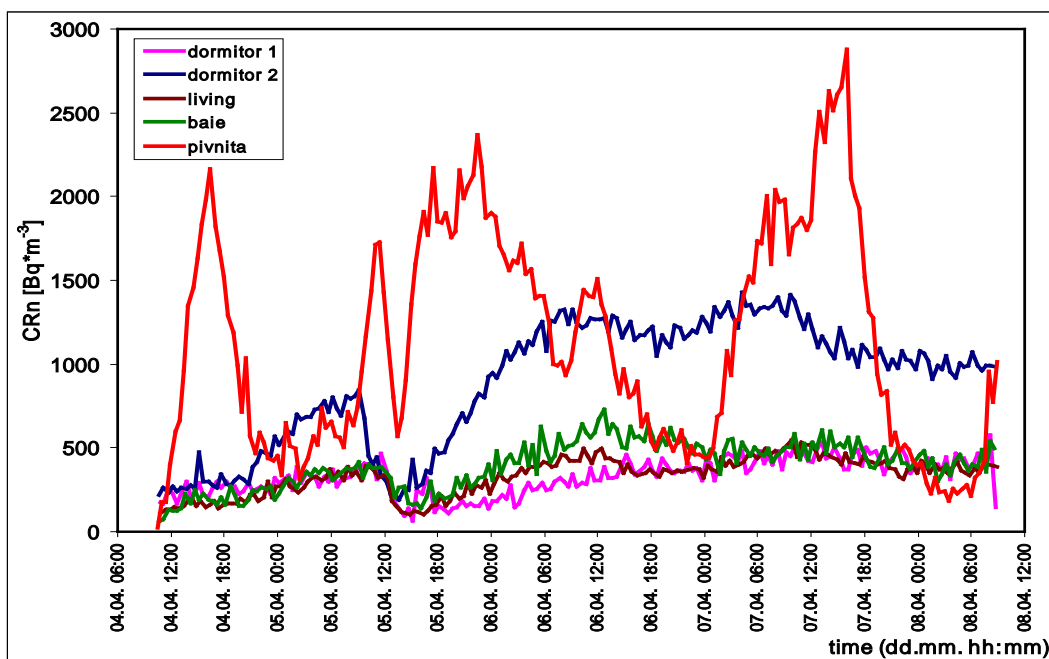


Fig. 3.1. Rezultatele măsurătorilor continue de concentrații de radon în cinci încăperi la casa Fânațe 116 A, (dormitor 1, dormitor 2, living, baie și pivniță) (original).

Scăpările de radon la contactul dintre subsol și clădire (cu valori ale concentrațiilor de radon de peste 1 kBq/m³) au fost identificate în dormitorul 2 (11 cazuri, cu maxima de 6,7 kBq/m³) și în living (2 cazuri, cu maxima de 4,7 kBq/m³). Prin măsurători integrate de radon au fost înregistrate concentrații mari (cu medii de peste 889 Bq/m³ în dormitor 2, peste 330 Bq/m³ în dormitorul 1, living și baie), și concentrații foarte ridicate în pivniță (cu media de peste 1131 Bq/m³). Rezultatele măsurătorilor continue simultane arată că cea mai importantă cale de intrare a radonului din subsol și mediul interior în casă este în dormitorul 2. De asemenea, având în vedere concentrația de radon foarte mare din punctul 8 și valorile mari ale radonului din camera 2, cea mai apropiată de această sursă, se poate afirma că aceasta porțiune de sol care a fost probabil locul de depozitare a materialului de construcție adus de la mina Băița este principala sursă de emisie a radon în casă.

3.1.2. Măsurile de remediere aplicate

În cadrul experimentelor propuse în perioada 15.10.2011 – 30.03.2013 au fost implementate și testate următoarele metode de remediere:

1. depresurizarea și presurizarea solului din jurul casei pilot cu ajutorul a patru colectoare de radon montați în solul din fundația casei și conectați la patru ventilatoare electrice individuale;
2. ventilarea pivniței, cu ajutorul unui ventilator electric montat pe fereastra din pivniță;
3. aplicarea unui cap eolian de extracție montat pe acoperișul casei și cuplat la două colectoare de radon montați în solul din fundația casei;
4. testarea combinației cap eolian de extracție și ventilator electric cuplați la patru colectoare de radon, montați în solul din fundația casei;

5. aplicarea membranei barieră anti-radon într-unul din dormitoare;
6. testarea combinației membrană anti-radon cu sistemul de depresurizare sol cu ajutorul a două colectoare de radon cuplați la un singur ventilator electric și cap eolian de extracție;
7. sistem automatizat de monitorizare și control a concentrațiilor de radon din casă.

În prima etapă de remediere (perioada 15.10.2011 – 15.03.2012) s-au experimentat și testat două tehnici de remediere bazate pe depresurizarea și presurizarea solului din jurul casei cu ajutorul a patru colectori de radon montați în solul din fundația casei. Astfel, s-au montat trei colectori de radon în exteriorul casei și unul în centrul casei în dormitorul 2. Colectorii de radon sunt confecționați din țevă PVC Φ 400 cu lungimea de 80 cm în care pe o lungime de 60 cm s-au practicat mai multe rânduri de fante Φ 150 / 8 și găuri Φ 12 pe o treime din circumferința colectorului pentru a facilita circulația radonului. Colectorul nu are capac la partea inferioară iar la partea superioară este prevăzut cu un capac PVC etanș cu o gaură prin care trece un tub PVC de Φ 110 cu lungimea de 3-4 m până aproape de acoperișul casei. Acest tub are montat la partea superioară un ventilator electric de 14 W / 220 V – 110 mc/h, cu posibilitatea de schimbare a sensului de extracție prin depresurizare/ presurizare. Colectorii nr.1, 2 și 3 sunt amplasați într-o groapă în solul din fundația casei la o adâncime de 1 m. Pe fundul gropii s-a introdus un strat subtire de pietriș sort Φ 8~16 mm până la adâncimea de 60 cm, după care s-a introdus un strat de argilă peste care s-a cimentat cca 20-25 cm. Colectorul nr. 4 este amplasat în centrul casei în interiorul dormitorului 2, într-o groapă de cca 1 m adâncime. Partea superioară a tubului colector se prelungeste pana in podul casei unde are montat un ventilator de 14 W / 220 V – 110 mc/h. Detalii constructive sunt date în fotografiile din figurile 3.2. și 3.3.



Fig.3.2. Colectorul de radon, tub gros PVC, cu diametru de 40 cm și lungime de 80 cm, prevăzut cu fante și găuri de trecere a gazului radon (stânga) și colectorul de gaz de radon introdus în fundația casei, prelungit cu un tub lung PVC, fixat pe pereții exteriori ai clădirii (dreapta) (original).



Fig.3.3. Ventilatorul electric din capătul superior al tubului PVC (stânga) și ventilatorul electric nr. 4 instalat în podul casei și conectat la colectorul de radon instalat în dormitorul 2 (dreapta) (original).

Prin cuplarea colectoarelor de radon cu ventilatorul s-au realizat patru colectoare active, care s-au testat la casa pilot în două moduri de funcționare:

1. Depresurizarea prin extracție, prin care crește fluxul de aer sub podea, și cu ajutorul ventilatorului se poate reduce cantitatea de radon care intră în casă. Această metodă presupune instalarea adițională a unor căi de ventilație sub podea (tuburi dren).
2. Presurizare pozitivă, ce implică introducerea de aer în casă cu ajutorul unui ventilator instalat în pod, astfel realizându-se o ușoară creștere de presiune în raport cu presiunea atmosferică. Acest lucru forțează ieșirea aerului prin crăpături, ferestre, alte deschideri și reduce intrarea radonului.

În etapa a doua (perioada 09-24.05.2012) s-a experimentat și testat tehnica de remediere bazată pe ventilarea pivniței cu ajutorul unui ventilator electric de 14 W / 220 V, 110 m³/h montat pe fereastra din pivniță. Acest ventilator este montat în poziție de extracție aer din pivniță.

În etapa a treia (perioada 01-10.06.2012) s-a experimentat aplicarea unui cap eolian de extracție montat pe acoperișul casei și cuplat la două colectoare de radon montate în solul din fundația casei. Astfel, s-au unit două colectoare de Radon în podul casei și s-au cuplat la un cap eolian de extracție montat pe acoperișul casei, figura 3.4.



Fig. 3.4. Cuplarea celor doi colectori de Rn (1 și 2) în podul casei, care se continuă cu ventilatorul electric în podul casei și către un cap eolian de extracție spre acoperișul casei (original).

În etapa a patra (perioada 29.10-19.11.2012) s-a experimentat și testat tehnica de remediere bazată pe combinația capului eolian de extracție (de pe acoperișul casei) și ventilatoarele electrice din podul casei cuplate la câte două colectoare de radon. Scopul acestor experimente a fost testarea efectului capului eolian de extracție în combinație cu ventilatorul electric, prin monitorizarea concentrațiilor de radon din cele două camere, dormitorul 1 și 2. În primă fază s-a urmărit efectul capului eolian și al ventilatorului electric cuplat la colectorii de radon 1 și 2. Astfel, s-au unit colectorii de Radon la un singur ventilator electric prelungit cu un cap eolian de extracție pe acoperișul casei. În cea de a doua fază s-a urmărit efectul capului eolian și al ventilatorului electric cuplat la colectorii de Radon 1 și 3. Astfel, s-a decuplat colectorul 2 de la ventilatorul electric, astfel că doar colectorul 1 rămâne cuplat la ventilatorul electric cu eoliana. Colectorul 3 este cuplat la ventilatorul lui propriu.

În etapa a cincea s-a experimentat aplicarea membranei barieră anti-radon într-una din camere (dormitorul 2). Astfel, peste șapa de beton din dormitorul 2 s-a pus folie parchet, membrană anti-radon, polistiren extrudat de 30 mm și parchet triplu stratificat de stejar. Membrana anti-radon tip Monarflex RMB 350, a fost lipită de pereți cu bandă izolatoare anti-radon dublu strat la contactul podea-perete (fig. 3.5.).

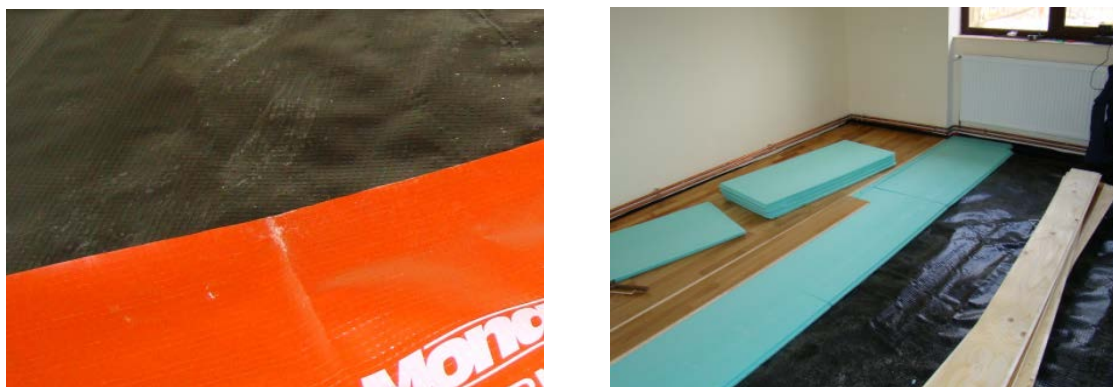


Fig. 3.5. Membrana barieră anti-radon tip Monarflex RMB 350 (stânga). Aplicarea membranei barieră anti-radon pe podeaua camerei. Peste membrană polistiren extrudat și parchet triplu stratificat de stejar (dreapta) (original).

În etapa a șasea (perioada 20.02-10.03.2013) s-a experimentat și testat tehnica de remediere bazată pe combinația membrană anti-radon cu sistemul de depresurizare sol, compus din două colectoare de radon cuplate la un singur ventilator electric în podul casei și cap eolian de extracție (pe acoperișul casei). Scopul acestor experimente a fost testarea membranei anti radon în combinație cu efectul ventilatorului electric și capul eolian de extracție, prin monitorizarea continuă a concentrațiilor de radon din camera dormitor 2.

Întâi s-a urmărit efectul membranei anti radon instalată în dormitorul 2. Astfel, s-au decuplat (obturat) ventilatorul electric și capul eolian de pe colectorii de radon 1 și 2. În faza a doua s-a urmărit efectul membranei anti radon în combinație cu efectul ventilatorului electric și al capului eolian. Astfel, s-au unit colectorii nr. 1 și 2 la ventilatorul electric din podul casei prelungit cu un cap eolian de extracție pe acoperișul casei.

Tot în etapa a șasea s-a experimentat și testat tehnica de remediere cu un “Sistem automatizat de monitorizare și control a concentrațiilor de radon”. Sistemul este alcătuit din trei părți principale: blocul de alimentare cu energie electrică, blocul de detecție a radonului și blocul de procesare a datelor și comandă.

Întregul sistem este conceput independent de consumul de la rețeaua electrică. Alimentarea sistemului se face printr-un sistem solar, care este alcătuit dintr-un panou solar de 1480 x 680 x 35 mm cu masa de 12.5 kg, un regulator de tensiune și un acumulator destinat pentru sisteme solare de 90Ah.

3.1.3. Măsurarea concentrației de Radon după remediere

În cadrul experimentelor de depresurizare și presurizarea a solului din jurul casei cu ajutorul a patru colectori de radon montați în solul din fundația casei s-au efectuat 12 experimente în modul de depresurizare (ventilație) și presurizare sol cu câte un colector de radon și în combinație. Testarea acestor două tehnici de remediere s-a efectuat prin măsurarea continuă a concentrațiilor de radon în camerele: dormitor 1 și dormitor 2, living și baie, pe perioadele de dinainte și după pornirea ventilatoarelor electrice (perioada de acumulare și ventilație). Rezultatele măsurărilor acestor experimente sunt prezentate în Anexa 1 și în tabelul 3.5. din teză, un tabel centralizator de mari dimensiuni.

Testarea extracției din pivniță cu ventilatorul electric montat în fereastra din pivniță s-a efectuat prin monitorizarea concentrațiilor de radon din camerele dormitor 1 și 2 cu aparate RADON SCOUT. S-au măsurat concentrațiile de radon dinaintea pornirii ventilatorului (perioadă de acumulare 5 zile) și după pornirea ventilatorului (perioadă de ventilație 10 zile), tabelul 3.3. și figura 3.6.. Acest procedeu duce doar la o foarte ușoară micșorare a concentrațiilor de radon din încăperile țintă (dormitor 1 și dormitor 2). Una din explicații este aceea că ventilatorul nu reușește să facă o depresiune suficientă care să determine un flux de sub casă spre pivniță și deci o reducere a concentrației de Radon în încăperi.

Tabel 3.3. Rezultatele obținute în urma experimentului cu ventilatorul electric din pivniță.

Metodă	camera	C _m [Bq/m ³]		Eff (%)
		înainte	după	
Ventilator electric pivniță	Dormitor 1	338	331	2,1 %
	Dormitor 2	606	594	2,0 %

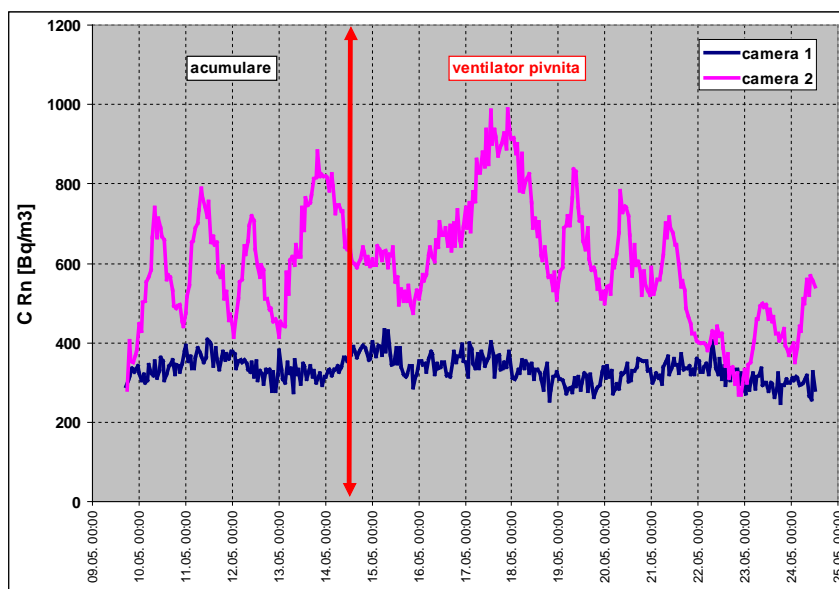


Fig.3.6. Monitorizarea concentrațiilor de radon în camera dormitor 1 și 2 (perioada: 09-24.05).
Linia roșie reprezintă pornirea ventilatorului (original).

Testarea capul eolian de extracție conectat la colectorii 1 și 2 s-a efectuat prin măsurarea integrată a concentrațiilor de radon din dormitorul 1 și 2 și living, cu detectorii RAMON. S-au măsurat concentrațiile de radon cu capul eolian de extracție decuplat de la colectorii de radon (perioadă de acumulare, 5 zile) și cuplat la colectorii de radon (perioadă de depresurizare a solului, 5 zile) în perioada 01-10.06.2012, tabelul 3.4.

Tabel 3.4. Rezultatele obținute în urma experimentului cu capul eolian de extracție.

Metodă	camera	C med. [Bq/m ³]		Eff (%)
		înainte	după	
Cap eolian de extracție	Dormitor 1	346	137	60,4 %
	Dormitor 2	615	223	63,7 %
	Living	167	112	32,9 %

Testarea combinației capului eolian de extracție și ventilatorul electric conectați la colectorii de radon s-a efectuat prin măsurarea continuă a concentrațiilor de radon din dormitorul 1 și 2. Măsurarea concentrațiilor de radon s-a efectuat cu monitorii de radon **RADIM 3A**. S-au măsurat concentrațiile de radon cu efectul capului eolian (perioadă 5 zile) și cu efectul ventilatorului electric cuplate la colectorii de radon (perioadă 5 zile), figura 3.7.

Testarea tehnicii de remediere cu membrana anti-radon în combinație cu sistemul de depresurizare sol cu ventilatorul electric și eoliana conectate la colectorii de Rn s-a efectuat prin măsurarea continuă a concentrațiilor de radon din dormitorul 2. Măsurarea concentrațiilor de radon s-a efectuat cu monitorul de radon RADON SCOUT. S-au măsurat concentrațiile de radon cu efectul membranei respectiv efectul membranei în combinație cu ventilatorul electric și capul eolian, figura 3.8. Prin comparație, concentrația medie de dinainte de aplicarea tehnicii de remediere este de 787 Bq/m³.

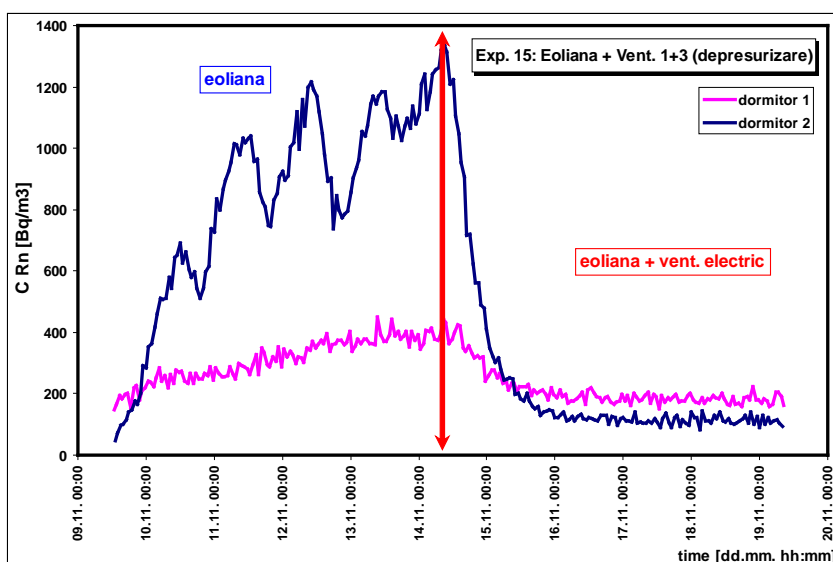


Fig. 3.7. Monitorizarea concentrațiilor de Rn din Dormitorul 1 și 2, cu efectul capului eolian și a ventilatoarelor electrice cuplate la colectorii 1 și 3. Linia roșie reprezintă momentul de pornire a ventilatoarelor electrice (original).

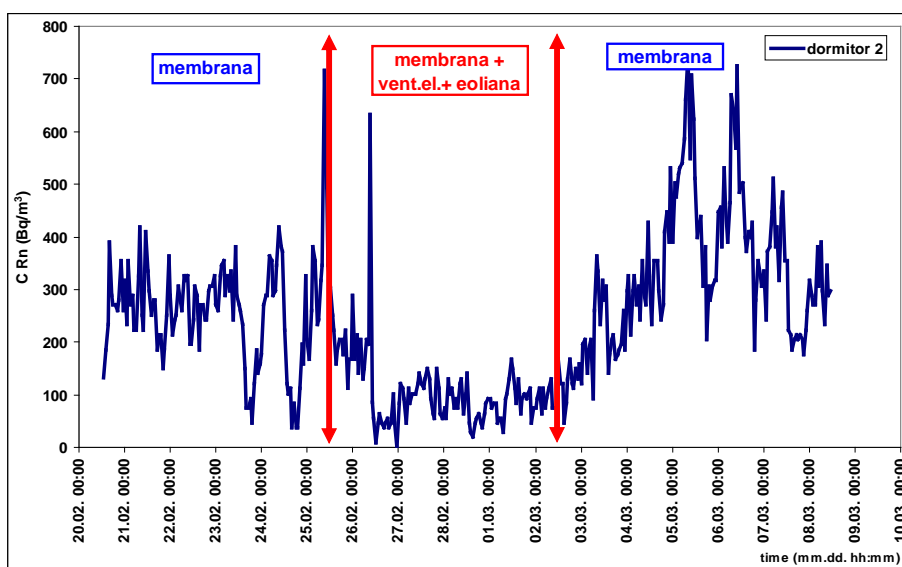


Fig. 3.8. Monitorizarea concentrațiilor de Rn cu efectul membranei în dormitorul 2 (20-25.02 și 02-09.03), efectul membranei cu ventilatorul și capul eolian în dormitorul 2 (25.02-02.03). Linia roșie reprezintă momentul de cuplare/pornire al ventilatorului și eoliane (original).

3.1.4. Rezultate experimentale finale

În etapa de verificare finală a eficienței metodelor aplicate de micșorarea a concentrației de Radon, au fost efectuate mai multe experimente și testări la casa pilot în scopul reverificării performanțelor obținute prin implementarea unei metode combinate compusă din subpresurizare prin colectoarele 1 + 2 și a membranei antiradon instalată în dormitorul 2. Rezultatele au fost verificate în perioada 6-13 mai 2013, de Andre Poffijn (Federal Agency For Nuclear Control) din

Belgia. Performanțele obținute au fost testate „in situ” confirmându-se rezultatele obținute anterior. Concluziile sunt pozitive, așa cum arată raportul (Poffijn, 2013).

În acest raport sunt evidențiate rezultatele bune obținute atât în studiile pe casa pilot cât și în remediile care s-au executat la cele 20 de case, la fel de bune ca cele obținute în programul internațional RADPAR (2009-2012) la care au participat 14 țări europene (Holmgren, 2013).

Valorile obținute de autor și cele obținute în proiectul RADPAR sunt prezentate comparativ în tabelele 3.5, respectiv 3.6.

Tabel 3.5. Rezultate obținute în cazul testărilor efectuate cu ajutorul detectorilor de urme la casa pilot.

Locația/ Camera	Detector CR-39	C Rn (Bq/m ³)		Eficiența remedierii
		înainte de remediere 2011	după remediere mar-mai 2012	
Dormitor 2	V83862	1385	159	88.52 %
Dormitor 1	V83762	680	281	58.70 %
Living	V83744	649	83	87,21 %
Baie	V84043	726	119	83,60 %

Tabel 3.6. Eficiența de remediere obținută în Programul RADPAR

Combination	Country	Reduction factor (%), Typ. range
Sealing + SSD	AUT	80
New floors with radon-proof membrane + sub-slab depressurization	CZE	85 - 95
New floors with radon-proof membrane + floor air gap depressurization	CZE	80 - 90
Sealing + building ventilation	FRA	72
Sealing + basement ventilation	FRA	68
Building and basement ventilation	FRA	67
Sealing entry routes + improving natural ventilation	NOR	20-80
Several methods used	FIN	35-75
Sealing + new mech. supply & exhaust ventilation + house pressurization + decreasing under pressure	AUT	80

Dr. Andre Poffijn a verificat modul de lucru și performanțele sistemului de ventilație. Pentru aceasta casa pilot a fost aerisită timp de o jumătate de oră și apoi totul a fost închis pentru acumulare o zi. Au fost instalate aparate de măsurare continuă de tip Sarad în cele 3 camere: dormitor 1, dormitor 2 și sufragerie. După o zi de acumulare s-a pornit sistemul de extracție iar rezultatele au fost înregistrate, figura 3.9. Se observă că imediat după pornirea sistemului de ventilație concentrația începe să scadă și ajunge la valori sub 200 Bq/mc în toate cele trei camerele. Rezultatele sunt sintetizate în tabelul 3.7 din care rezultă funcționarea eficientă a sistemului de ventilație și a membranei, obținându-se valori mici, 47 și 114 Bq/mc în sufragerie și dormitorul 1, iar în dormitorul 2 s-a înregistrat valoarea de 196 Bq/mc.

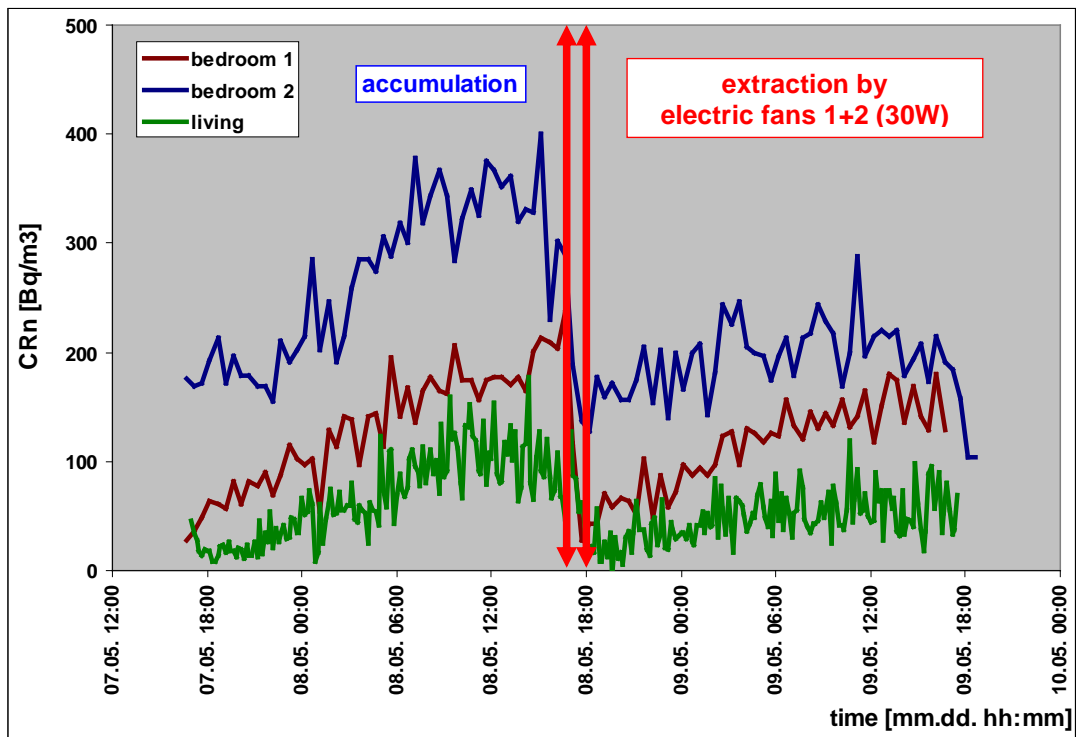


Fig. 3.9. Verificarea finală a sistemului de extracție (original)

Tabel 3.7. Rezultate finale pentru eficiența sistemului de extracție

Room	C Rn [Bq/m3]					
	accumulation			extraction by elect. fans 1+2 (30 W)		
	min	max	mean	min	max	mean
Bedroom 1	28	237	132	43	180	114
Bedroom 2	155	400	267	127	289	196
Living	8	177	68	0	119	47

3.2. Materiale conductive pentru ecranare electromagnetă și atenuarea concentrației de Radon

Pornind de la observația că între membranele de izolare a Radonului fabricate de Monarflex există și o membrană cu inserții conductive se studiază în acest capitol legătura între materialele conductive electric și măsurarea Radonului.

Unele cercetări arată că măsurătorile concentrației de Radon pot fi afectate de perturbații electromagnetice (Ogrutan, Suciuc et al, 2013). Izolarea electromagnetă are un efect pozitiv în scăderea intensității câmpului electric în incinta de măsurare, prin urmare este posibil să scadă erorile de măsurare.

O cercetare preliminară realizată de autor privind capacitatea de izolare a materialelor conductive împotriva pătrunderii Radonului nu a oferit rezultate concludente, de aceea această direcție de cercetare poate fi continuată în viitor.

3.2.1. Erori la măsurarea concentrației de Radon cu dispozitive electronice datorate câmpului electric

Este analizată posibilitatea de a apărea erori la măsurarea concentrației de Radon în aer datorită interferenței electromagnetice. Au fost realizate măsurări într-o locație cu un nivel mare al câmpului electromagnetic comparativ cu o locație cu un nivel redus. Sunt prezentate rezultatele măsurărilor realizate atât cu un dispozitiv electronic cât și cu detectori de urme.

Originea acestor preocupări a constituit-o măsurarea câmpului electric și a radiației ionizante într-o locație apropiată de antene GSM. În această locație au fost înregistrate valori mari ale câmpului electric în raport cu o locație martor, însă valorile măsurate au fost sub limita admisă. A fost înregistrat cu un dispozitiv electronic un nivel al concentrației de Radon în aer peste limita admisă, cu toate că locația este situată la etaj. Concentrația mărită de Radon nu a fost confirmată de măsurarea cu detectoare de urme. A fost emisă ipoteza că au apărut erori la măsurarea electronică datorită câmpului electric.

În general orice aparat electronic este supus influenței câmpului electromagnetic. Valoarea acestui câmp este din ce în ce mai mare, datorită măririi numărului de echipamente de telefonie mobilă, a transmisiilor wireless și a consumului de curent din rețeaua publică de alimentare. Măsurarea concentrației de Radon în aer se bazează pe măsurarea electronică a unor curenți de valori foarte mici, de ordinul nA. Din acest motiv măsurările de Radon sunt susceptibile la perturbații electromagnetice și rezultatele pot fi eronate

Lucrarea (Chen, Falcomer et al, 2007) atrage atenția asupra erorilor unor dispozitive active pentru măsurarea concentrației de Radon în aer și prezintă câteva rezultate experimentale privind comportarea acestora. În lucrare, una dintre cauzele erorilor este considerată interferența electromagnetică. Interferența electromagnetică a fost observată și în cazul măsurării electronice a dozei de radiație (Gilligan, Somerville et al, 2000). Testele au arătat apariția erorilor la anumite dozimetre în apropierea telefoanelor mobile. În patentul (Simon, Powers et al, 1989) este prevăzut pentru prima oară o amplificare pe mai multe canale și comparația rezultatelor obținute. Un singur canal este conectat la elementul de măsurare, celelalte fiind pasive. Dacă un impuls apare pe canalul de măsurare atunci el este acceptat iar dacă apar impulsuri simultane pe toate canalele înseamnă că a apărut o perturbație electromagnetică în circuitul electronic. În patentul (Balmer, Haverty et al, 1996) se propune o cameră de detecție cu performanțe superioare de ecranare împotriva câmpului electromagnetic.

Măsurarea câmpului electromagnetic s-a făcut în două game de frecvențe, unde se presupune că valoarea câmpului este mai mare, în jurul frecvenței de 50Hz și în gama de frecvențe înalte alocate telefoniei mobile.

Figura 3.10 arată rezultatele măsurate în domeniul 400MHz-2100MHz care acoperă zona comunicațiilor mobile. În România pentru comunicațiile mobile sunt alocate frecvențele de 900MHz și 1800MHz (2G) și 2100MHz (3G). Cosmote are alocată și banda de 450MHz. Se poate observa că măsurarea în zona apropiată de antene (stânga) arată valori mult mai mari a intensității câmpului electric decât într-o zonă martor, îndepărtată de antene, dar totuși în oraș și cu semnal pentru toate rețelele de telefonie mobilă.

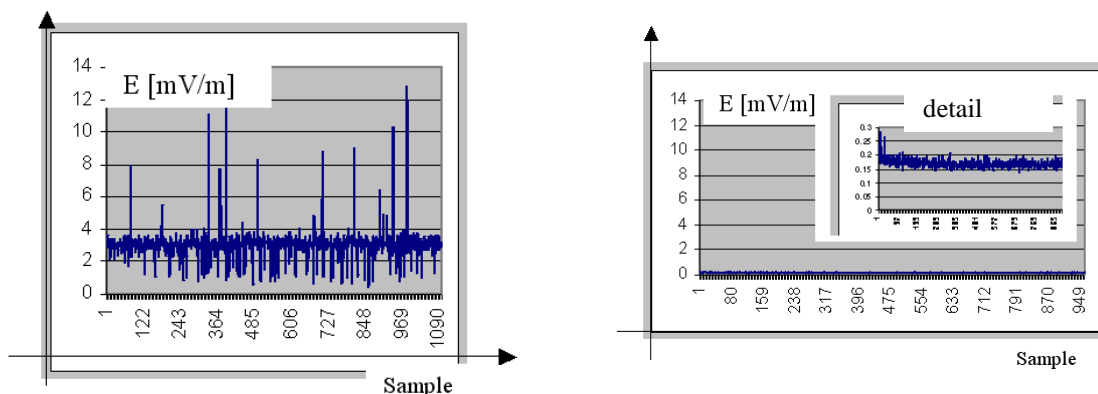


Fig. 3.10. Intensitatea câmpului electric în domeniul 400 – 2100 MHz în apropierea antenelor (stânga) și în locația martor (dreapta) (original)

În figura 3.11 sunt date rezultatele obținute prin măsurarea cu dispozitivul electronic pe o durată de 12 zile, notând o valoare pe zi. Se poate observa că valoarea măsurată în locația din apropierea antenelor (graficul de sus) este mult mai mare decât valoarea măsurată în locația martor, ajungând la limita admisă în Comunitatea Europeană. Acest rezultat surprinzător a trebuit să fie confirmat de un alt tip de măsurare, de aceea ulterior s-au folosit detectoare de urme.

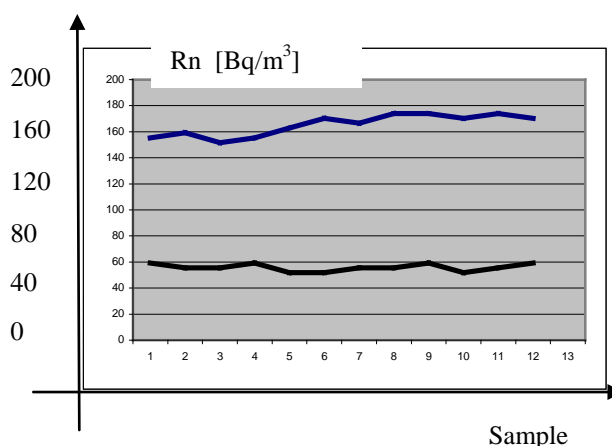


Fig. 3.11. Concentrația de Radon măsurată cu un dispozitiv electronic în locația din apropierea antenelor (sus) și în locația martor (jos) (original)

Se poate observa că nivelul concentrației de Radon măsurată cu dispozitivul electronic este mai mare decât limita de atenție și mai mare decât valoarea normală pentru condițiile situării locației de măsurare (Cosma, Szacsvai et al, 2009). Acest rezultat a necesitat o măsurare cu detectoare de urme care a arătat o valoare normală a concentrației de Radon în ambele locații. Se poate emite ipoteza că valoarea măsurată cu dispozitivul electronic a fost eronată datorită interferenței electromagnetice. Graficul din figura 3.12 arată sugestiv valorile măsurate în cele două locații, atât a câmpului electric (gri) cât și a concentrației de Radon cu dispozitivul electronic (alb) și cu detectorul de urme (negru). Este sugestivă imaginea diferenței de concentrație măsurată în locația afectată de câmpul electric.

Cercetările pot fi continuate în această direcție prin testarea susceptibilității dispozitivului electronic într-o incintă TEM (Transversal ElectroMagnetic).

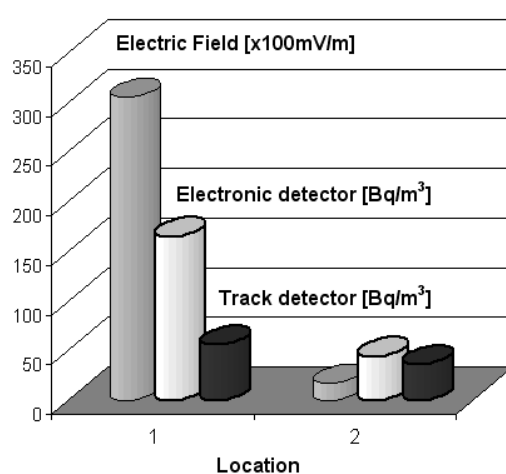


Fig. 3.12. Concentrația de Radon măsurată prin două metode și câmpul electric în cele 2 locații (original)

3.2.2. Determinarea atenuării nivelului de radiație prin folosirea unor materiale și nanomateriale cu inserții conductive

Au fost plasați traductori CR 39 în subsol, 4 traductori închiși în materialele supuse testului și un traductor liber, figura 3.13. Au fost testate materiale obținute prin nanotehnologii la ICPE București (Kappel și Lucaci, 2010). Materialele sunt fabricate din butadien stiren cu inserții conductive din nanocarbon (TN), grafit (GR), fier (FE) și ferită (FT).



Fig. 3.32. traductori CR 39 plasați în subsol, (original)

Detectorii CR-39 puși în cutii de tip Radapot au fost expuși, timpul de expunere fiind între 2007.08. 29.-2007.11.22, apoi au fost developați la Cluj Napoca, la laboratorul de I.C.E.I. al Universității. După developare au fost citiți cu microscopul optic Radosys 2000.

Rezultatele măsurării sunt date în tabelul 4:

Tabel 3.8. rezultatele măsurării concentrației de Radon

Material	Traductor liber	TN150	GR150	TN300	GR300	FE300	FT300	Traductor în staniol
Concentrația de Radon	264	100	87	107	249	160	210	120

Rezultatele din tabelul 3.8 arată că traductoarele învelite în materialele testate arată o concentrație mai mică de Radon în aer, dar variația mare a concentrației pentru diversele materiale arată că inserția conductivă nu are rezultate concludente în protecția împotriva pătrunderii Radonului.

Importanța studiilor legate de materiale care pot fi folosite la reducerea concentrației de Radon este dovedită și de proiectele europene dedicate acestui scop, așa cum este (ERRICA, 2001). Conform obiectivului W3 cu referire la materialele de construcție se propune utilizarea materialelor care nu degajă Radon și folosirea de materiale de construcție cu structuri speciale ca barieră împotriva Radonului. Se propune stabilirea unor metode de măsurare și standarde în acest domeniu. Obiectivul W4 propune stabilirea unor metode de reducere a concentrației de Radon la construcția clădirilor noi. Cercetări noi (Lamonaca et al, 2014) arată importanța materialelor de construcție în micșorarea concentrației de Radon.

Capitolul 4. Concluzii și principalele contribuții personale

4.1. Concluzii

În urma realizării acestei teze, din materialul conceput și după analiza rezultatelor experimentale obținute, se desprind câteva concluzii principale. Astfel, din Capitolul 2, concluziile cele mai importante sunt:

1. Comparația între principiul măsurării prin integrare și prin numărarea impulsurilor

Concluziile simulării celor două metode de măsurare arată că măsurarea prin integrare este superioară celei prin numărarea impulsurilor din mai multe puncte de vedere:

- Perturbația sinusoidală este rejectată în totalitate dacă perioada de integrare este multiplu al perioadei tensiunii rețelei industriale;
- În timpul integrării microcontrollerul poate executa alte sarcini, de exemplu de transmisie de date;
- Etajul analogic este simplu.

Totuși în cazul măsurării concentrației de Radon metoda integrării nu se poate aplica. Metoda integrării se poate aplica doar la un număr mare de impulsuri de descărcare în unitatea de timp, iar măsurarea concentrațiilor mici de Radon înseamnă un număr foarte mic de descărcări pe zi. Prin integrare zgomotul de măsurare crește în timp și produce saturarea circuitului analogic de integrare. Metoda numărării impulsurilor se pretează și la măsurări de concentrații mici, folosind însă mai mult resursele microcontrollerului. Această concluzie a fost trasă după construirea lanțului analogic, achiziția semnalului și urmărirea lui o perioadă mai lungă cu modulul de achiziții de National Instruments.

2. Comparație între aparatul cu cameră de detecție și aparatul cu cameră de ionizare

Aparatele au fost testate prin comparație cu sistemul Safety Siren 2 și rezultatele sunt foarte asemănătoare, diferența fiind mai mică de 10%. Camera de detecție este mult mai mică ca și dimensiuni decât camera de ionizare și în bibliografie se pare că este mai utilizată în aplicațiile moderne. Totuși, un dezavantaj al camerei de detecție este faptul că primele rezultate sunt date cu mai mare întârziere decât camera de ionizare. Dimensiunile fiind mai mici, durează mai mult până aerul intră în incinta de măsurare. Aparatele cu cameră de detecție se pretează la aplicații portabile. Cu toate că nu există o limită teoretică a sensibilității maxime, se apreciază că valoarea minimă măsurabilă este $0,1 \text{ pCi/l}$ (4 Bq/m^3) datorită faptului că nu au existat mijloace tehnice de a verifica aparatul la un conținut mai mic de Radon. În lucrarea (Nachab, 2006) se arată un sistem de măsurare a Radonului prin numărarea impulsurilor care detectează și o concentrație de 18 mBq/m^3 (o descărcare/24ore) cu o cameră de detecție de 70l polarizată cu 1500V și o fotodiodă PIN. Această lucrare din 2006 arată corectitudinea liniei alese în acest proiect de a concepe varianta constructivă cu fotoelement.

3. Sistemele de transmisie de date

Pentru ca datele referitoare la concentrația de Radon să poată fi transmise la distanță de către mai multe aparate și un server să gestioneze o bază de date recepționate au fost concepute mai multe tipuri de transmisie: prin linie telefonică cablată și prin telefonie mobilă GSM. Din aceste două tipuri de transmisie se poate alege cea care corespunde poziției aparatului de măsură

(existența semnalului GSM sau existența unei linii telefonice). Aparatul de măsură a fost prevăzut cu un modul de recepție GPS, așa încât odată cu transmiterea datelor referitoare la concentrația de Radon transmite și date referitoare la poziția geografică și timpul exact al măsurătorii. Sistemul software de recepție, centralizare și stocare a datelor interpretează datele recepționate, semnalizează depășirea concentrației de Radon limită programate și alarmează la lipsa de comunicare cu un aparat de măsură. Intrarea în program se face prin autentificare.

Din Capitolul 3, principalele concluzii sunt:

1. Concluziile experimentelor desfășurate la casa pilot pe toată perioada remediilor

S-au efectuat 12 experimente succesive de depresurizare și presurizare sol cu colectorii de radon cuplați cu ventilatoare electrice de 30 W / 220 V - 110 mc/h, montate la partea superioară a fiecărui colector de radon (sistem activ de remediere), câte unul sau în combinație. Fiecare experiment a fost precedat de o perioadă de acumulare a radonului de aproximativ 1 săptămână. Rezultatele experimentelor arată o eficiență maximă de 80 % pentru dormitorul 2, și de 55-65 % pentru celelalte încăperi (chiar 68% pentru sufragerie). În toate cazurile de extracție chiar dacă în cazul în care nu s-au obținut eficiențe de remediere mai mari de 60%, valoarea concentrației de radon a fost sub 200 Bq/mc, valoare ce reprezintă obiectivul de remediere urmărit.

Testarea tehnicilor de remediere s-a efectuat prin măsurarea concentrațiilor de radon înainte și după aplicarea tehnicii de remediere. Testarea tehnicii de remediere prin ventilarea pivniței arată o eficiență foarte slabă (de 2%, în ambele dormitoare). S-a determinat că această eficiență foarte mică se datorează faptului că nu pivnița era sursa primară de radon ci solul din fața casei (la drum) care alimenta și pivnița cu radon. Testarea tehnicii de remediere de depresurizare a solului cu cap eolian de extracție arată o eficiență bună (peste 60 %) în anumite situații și o eficiență mică în altele (10%), așa încât este nevoie de continuarea cercetărilor. Eficiența extracției eoliene a fost testată și global în cadrul măsurătorilor integrate cu detectori de urme pentru tot lotul de case remediate în cursul anului 2013 iar rezultatul mediat de 47,4% (similar cu eficiența membranei la casa pilot) confirmă totuși că sistemul eolian de extracție are o eficiență acceptabilă.

Testarea tehnicilor de remediere de depresurizare a solului cu combinația cap eolian de extracție și ventilator electric arată o eficiență foarte bună în cazul cuplării simultane a eoliane și a ventilatorului electric, astfel concentrațiile scad sub 200 Bq/mc în Dormitorul 1.

Testarea tehnicilor de remediere cu membrana anti-radon în combinație cu depresurizarea solului cu ventilator electric și cap eolian arată o eficiență bună în cazul aplicării membranei anti-radon, astfel concentrația medie în dormitorul cu membrană scade până la 260 Bq/m³ (eficiență de peste 65 %) și o eficiență foarte bună în cazul aplicării membranei în combinație cu depresurizarea solului, astfel că concentrația medie în dormitorul cu membrană scade până la 85 Bq/m³ (eficiență aproape 90 %).

2. Testarea finală în cadrul unui audit extern a confirmat rezultatele de remediere obținute

În cadrul verificărilor finale realizate de un specialist cu ocazia unui audit tehnic s-a constatat buna funcționare a sistemului de depresurizare și a celui de control și reglaj și de asemenea s-au făcut verificări suplimentare ale concentrației de radon din solul din jurul colectoarelor și a conținutului de radon în fluxul eliminat prin cele două extractoare. Au fost testate alternativ extracția cu ventilator centrifugal și axial. Rezultatele preliminare nu indică un

rezultat clar în favoarea unuia dintre cele două tipuri de ventilatoare. Și în această direcție cercetările pot fi continuate.

În cadrul aceluiași verificări finale, au fost realizate testări la casa pilot privind eficiența sistemului de extracție și a membranei. Rezultatele arată că în toate încăperile în care s-au făcut măsurători valorile atinse au fost sub 200 Bq/mc. Dacă se faceun calcul pornind de la valorile medii anuale inițiale de respectiv: 680, 1395 și 649 Bq/mc și de valorile finale rezultă în ordine eficiențele: 83,22%; 85,95%; 92,31% în foarte bună concordanță cu valorile obținute în proiectul RADPAR.

Ca măsurători suplimentare la casa pilot în timpul auditului, s-a verificat și s-a demonstrat că sursa de Radon cea mai importantă este solul de lângă peretele casei de lângă drum. De asemenea prin măsurătorile concentrației de Radon din fluxul extras s-a confirmat încă odată localizarea sursei principale și a faptului că fiind o sursă foarte puternică reducerea în camera cea mai apropiată de această sursă este dificil de realizat. Valoarea eficienței de remediere pentru această cameră de 82,4% este un rezultat foarte bun în această situație.

S-a constatat buna funcționare a sistemului de control și reglaj a concentrației de Radon la casa pilot, dovedindu-se că acesta acționează corespunzător.

3. Influența câmpului electric asupra incertitudinii de măsurare a detectoarelor electronice de Radon

Prin măsurarea în paralel a câmpului electromagnetic de înaltă frecvență și a concentrației de Radon în aer prin două metode s-a demonstrat că dispozitivul electronic Safety Siren 3 este susceptibil la perturbații. S-a urmărit obținerea unor rezultate care să determine dacă materialele obținute prin nanotehnologii pot fi folosite pentru atenuarea câmpului electromagnetic și a concentrației de Radon. În ceea ce privește câmpul electromagnetic efectul de atenuare este demonstrat, în ceea ce privește atenuarea concentrației de Radon rezultatele nu sunt concludente, determinările fiind prea puține. Cercetarea poate continua și în această direcție.

4.2. Contribuții personale

Principalele contribuții personale din Capitolul 2

Au fost concepute, proiectate și construite două aparate de măsurare a concentrației de Radon în aer cu o structură originală. La construcția acestor aparate, principalele contribuții sunt:

1. Simularea în Matcad a traiectoriei electronului pentru stabilirea valorii câmpului electric necesar pentru orientarea particulelor încărcate în camera de detecție;

2. Contribuții la concepția și proiectarea unui tip original de cameră de ionizare și procedură de măsurare, brevetată ca invenție;

3. Analiza comparativă a două metode de măsurare, prin integrare și prin numărarea impulsurilor. Analiza a ținut cont de gama de concentrații de Radon urmărite pentru măsurare și de perturbațiile electromagnetice care afectează măsurarea;

4. Simularea măsurării prin integrare în prezența perturbațiilor electromagnetice în Simulink și PSpice. Proiectarea și realizarea unui amplificator integrator și compararea rezultatelor cu cele simulate.

5. Simularea Simulink a măsurării prin numărarea impulsurilor. Propunerea de măsurare cu două canale și proiectarea unui etaj de intrare care rejectează impulsurile false. Simularea PSpice a etajului de intrare.

6. Concepția, proiectarea și realizarea unui dispozitiv cu microcontroller care preia impulsurile de la etajul de intrare, le numără și afișează rezultatul pe un afișaj LCD.

7. Concepția și proiectarea unei surse ridicătoare de tensiune pentru polarizarea camerei de detecție și a camerei de ionizare.

8. Concepția și proiectarea unui sistem de stabilire exactă a poziției aparatului de măsurare și timpului de transmisie bazat pe mesajele GPS.

9. Concepția și proiectarea unui sistem de comunicații între microcontroller și un calculator PC prin intermediul liniei telefonice sau direct prin cablu prin conectarea unui modem dial-up

10. Concepția și proiectarea unui sistem de comunicații între microcontroller și un calculator PC prin intermediul telefoniei GSM și a Internetului prin conectarea unui modul GPRS.

11. Concepția arhitecturii unui program software de gestiune a mesajelor trimise de mai multe aparate de măsurare situate în diverse puncte geografice, stocarea datelor într-o bază de date și generarea de avertismente la depășirea valorii maxime a concentrației de Radon într-o anumită locație.

12. Concepția, proiectarea și realizarea a două modele experimentale de aparate de măsurare a concentrației de Radon în aer, unul cu cameră de detecție și unul cu cameră de ionizare, cu posibilitatea de afișare locală a datelor și transmisia datelor la distanță prin GPRS. A fost realizată testarea aparatelor de măsurare, compararea rezultatelor și etalonarea.

Lucrări publicate care conțin aspectele originale prezentate în capitolul 2

1. P.Ogrutan, L. Suci, L. Purghel, C. Cosma *Metoda integrativa pentru masurarea radonului in aer. Influenta mediului electromagnetic*, revista Eco Terra nr. 12/2007, ISSN 1584-7071 (CNCSIS Categoria D)
2. P.Ogrutan, L. Suci, L. Purghel, C. Cosma *Masurarea concentratiei de Radon in aer prin numararea impulsurilor*, revista Eco Terra nr. 13/2007, ISSN 1584-7071 (CNCSIS D)
3. P.Ogrutan, Cs. Kertesz, L. Purghel, L. Suci *Sistem pentru masurarea in timp real a concentratiei de Radon in aer si transmitia datelor din locatii multiple*, revista Eco Terra nr. 14/2007, ISSN 1584-7071 (CNCSIS D)
4. P. Ogrutan, L. Purghel, C. Cosma, Cs. Kertesz, L. Suci, *Aspects regarding real time Radon measurement and GPRS data transmission*, Environment – Essential Problems, 10/2007, Edited by Babes Bolyai University of Cluj Napoca and ICPE Bistrita,, ISSN 1584-6733, pag.297-302
5. Csaba-Zoltan Kertesz, Gheorghe Pana, Petre Ogrutan, Liviu Suci, *Microcontroller Based System for Radon Concentration Measurement and Data Transmission*, 13th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment, ISBN 978-1-4673-1653-8/12/2012 IEEE, p. 1247-1252, **indexat IEEE**
6. P. Ogrutan, Gh. Morariu, C. Cosma, L. Suci, *Radon concentration measurements. Comparative data*, Environment – Essential Problems, 12/2008, Edited by Babes Bolyai University of Cluj Napoca and ICPE Bistrita,, ISSN 1584-6733, pag.323-330
7. L. Purghel, Gh. Morariu, P. Ogrutan, M. Alexandru, Cs. Kertesz, L. Suci, *Metoda si aparat pentru masurarea concentratiei de Radon in aer si transmiterea datelor la distanta*, brevet de inventie nr. 125125/2012 **indexat Derwent, ISI Web of Knowledge**

Participarea la proiecte în legătură cu Capitolul 2

1. **CEEX 2006-2008** - Cercetari privind cartarea nationala a radonului (in interior si in diferiti factori de mediu) pentru protectia populatiei in conformitate cu cerintele normelor internationale si ale UE – RADROM

Principalele contribuții personale din Capitolul 3

2. S-au implementat și testat mai multe tehnici de remediere noi, pentru care s-a evaluat eficiența.
3. S-a implementat ventilarea pivniței cu ajutorul unui ventilator electric montat pe fereastra din pivniță;
4. S-a aplicat un cap eolian de extracție montat pe acoperișul casei cuplat la colectorii de radon;
5. A fost realizată testarea combinației cap eolian de extracție și ventilator electric cuplate la colectorii de radon;
6. A fost realizată aplicarea membranei barieră anti-radon în dormitor;
7. S-a testat combinația între o membrană anti-radon și sistemul de depresurizare sol (colectori de radon cuplați la un ventilator electric și cap eolian de extracție);
8. A fost implementat un sistem automatizat de monitorizare și control a concentrațiilor de radon din casă.
9. Au fost realizate măsurări de câmp electromagnetic în gama din jurul frecvenței de 50Hz și în gama de înaltă frecvență alocată comunicațiilor, în două locații, una în apropiere de antene și alta la depărtare;
10. A fost realizată măsurarea concentrației de Radon în aer cu dispozitivul electronic Safety Siren 3 și cu detectoare de urme în ambele locații;
11. Prin analiza rezultatelor s-a determinat că dispozitivul electronic are erori de măsurare în prezența câmpului electric de înaltă frecvență;
12. Pentru a determina dacă materialele slab conductive au efect în micșorarea concentrației de Radon s-a făcut o măsurare izolând traductori de urme în carcase construite din aceste materiale;
13. Rezultatele nu au fost concludente pentru că numărul de experimente nu a fost suficient. S-a constatat o micșorare a concentrației de Radon. În această direcție cercetările pot fi continuate.

Lucrări publicate care conțin aspectele originale prezentate în capitolul 3

1. P. Ogrutan, L. Suci, G. Morariu, L. E. Aciu, *Susceptibility of Radon Measurement Device to Electric Fields*, Roumanian Journal of Physics, Volume 58, Supplement, pages S202-S209, 2013, **indexat ISI Web of Knowledge**
2. L. Suci, P. Ogrutan, Gh. Pana, C. Cosma, *Aspects Regarding Building materials with Electromagnetic and Radon Shielding Characteristics*, Eco Terra nr 17/2008, ISSN 1584-7071 pag 28-29
3. Moldovan M., Cucos- Dinu A, Suci L., Vald G., Cosma C., *Radonul din sol și influența asupra dozei anuale - Vârste absolute prin metode nucleare de datare*, Editura Quantum, ISBN 978-973-88835-0-5, pp. 181-194, 2008;
4. Cosma C., Szacsvai K., Cucos- D. A., Ciorba D., Dicu T., Suci L., *Preliminary Integrated Indoor Radon Measurements in Transylvania (Romania)*, Isotopes in

environmental and health studies, 45 (3), pp. 259-268, 2009, **indexat ISI Web of Knowledge**

5. Cosma C., Papp B., Moldovan M., Cosma V., Cindea C., Suciu L. *Measurement of Radon Potential from Soil using a Special Method of Sampling*, Acta Geophysica, Volume 58, Issue 5, pp. 947-956, 2010, **indexat ISI Web of Knowledge**
6. Truta L.A., Hofmann W., Cosma C., Suciu L., *Expunerea la Radonul din interior și evaluarea riscului de cancer pulmonar a populației din județele Cluj și Bistrița Năsăud*, Ecoterra, No. 28, pp. 175-180, 2011;
7. Cosma C., Dumitru O.A., Niță D.C., Begy R., Cucuș- Dinu A., Iurian A., Moldovan M., Papp B., Dicu T., Burghele B., Suciu L., Sainz C., *Preliminary results of natural radioactivity measurements in some building materials from uranium mine area Băița, Romania, by gamma spectrometry*, Ecoterra, No. 33, pp. 78-83, 2012;
8. Cucuș- Dinu A., Cosma C., Dumitru O.A., Dicu T., Papp B., Niță D.C., Begy R., Moldovan M., Burghele B., Sainz C., Suciu L., *Scurtă descriere a metodelor de remediere a concentrațiilor de Radon implementate în 20 de case din zona minieră Băița- Bihor (România)*, Ecoterra, No. 36, pp. 17-21, 2013.
9. Cosma C., Cucos Dinu A., Papp B., Moldovan M., Begy R., Dicu T., Nita D.C., Burghele B.D., Fulea D., Cîndea C., Rusu O. D., Maloș C., Suciu L., Banciu G., Sainz C., *Radon Measurements and Radon Remediation in Baita-Stei Prone Area*, Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, May 2013, Vol. 8, No. 2, p. 191 – 199 **indexat ISI Web of Knowledge**
10. Cosma C., Cucos Dinu A., Papp B., Begy R., Dicu T., Moldovan M., Truta L.A., Nita D.C., Burghele B.D., Suciu L., Sainz C., *Radiation and remediation measures near Baita Stei pound old uranium mine (Romania)*, Acta Geophysica, Volume 61, Issue 4, pp. 859-875, 2013, **indexat ISI Web of Knowledge**

Participarea la proiecte în legătură cu Capitolul 3

1. **PARTENERIATE 2008-2011** - Studii experimentale si clinice asupra radonului in jud din centrul Transilvaniei si impactul asupra morfologiei aparatului respirator la om si animal - SERTIR
2. **POS CCE 2009** - Implementarea tehnicilor de remediere a radonului în locuințe din zona minei uranifere BĂIȚA / IRART
3. **PARTENERIATE 2012** - Harta de radon (rezidential, geogenic, apa) pentru regiunile de Centru, Vest si Nord-Vest ale Romaniei / Radon Map (residential, geogenic, water) for Center, West and NortWest regions from Romania (*RAMARO*)

Bibliografie selectivă

1. Åkerblom G, Radon Legislation and National Guidelines, Swedish Radiation Protection Institute, SSI rapport 99:18, ISSN 0282-4434 (1999).
2. Balmer D., Haverty T., Nordin C., Tyree W., *Electronically shielded solid state charged particle detector*, US Patent 5548121, 1996, <http://www.google.com/patents/US5548121>
3. Beir V.I., Effects to exposure to radon, Washington DC, National Academy Press (1999).
4. CEEEX nr. 747/2006, Cercetari privind cartarea nationala a Radonului pentru protectia populatiei in conformitate cu cerintele normelor internationale si ale UE-RADROM, Proiect CEEEX 2006-2008
5. Chen J., Falcomer R., Walker R., *Field Evaluations of Digital Radon Detectors*, Health Physics, November 2007 - Volume 93 - Issue 5 - pp S184-S186, http://journals.lww.com/health-physics/Abstract/2007/11003/Field_Evaluations_of_Digital_Radon_Detectors.8.aspx
6. Commission recommendation on the protection of the public against indoor exposure to radon 90/143/Euroatom, Brussels, Commission of the European Communities, 1990 (http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radioprotection/doc/legislation/90143_en.pdf, accessed 29 May 2009).
7. Cosma, C., Szacsvai, K., Cucos-Dinu, A., Ciorba, D., Dicu, T., **Suciu, L.** *Preliminary integrated indoor radon measurements in Transylvania (Romania)*. In: Isotopes in Environmental and Health Studies, Vol. 45 (3), 2009, p. 259-268.
8. Cosma C., Dumitru O.A., Niță D.C., Begy R., Cucos- Dinu A., Iurian A., Moldovan M., Papp B., Dicu T., Burghel B., **Suciu L.**, Sainz C., Preliminary results of natural radioactivity measurements in some building materials from uranium mine area Băița, Romania, by gamma spectrometry, Ecoterra, No. 33, pp. 78-83, 2012;
9. Cosma C., Cucos Dinu A., Papp B., Begy R., Dicu T., Moldovan M., Truta L.A., Nita D.C., Burghel B.D., **Suciu L.**, Sainz C., *Radon and remediation measures near Băița-Ștei old uranium mine (Romania)*, Acta Geophysica 61 (4) , pp. 859-875, 2013
10. Cosma, C., Cucos-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)*, Journal of Environmental Radioactivity 116 , pp. 174-179, 2013
11. Cosma C., Cucos Dinu A., Papp B., Moldovan M., Begy R., Dicu T., Nita D.C., Burghel B.D., Fulea D., Cîndea C., Rusu O. D., Maloș C., **Suciu L.**, Banciu G., Sainz C., *Radon Measurements and Radon Remediation in Baita-Steii Prone Area, Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, May 2013, Vol. 8, No. 2, p. 191 – 199
12. Cucos- Dinu A., Cosma C., Dicu T., C, Sainz, *Thorough investigations on indoor radon in Băița radon-prone area (Romania)*, Science of the Total Environment 431, p. 78-83, 2012
13. Cucos- Dinu A, Cosma C., Dumitru O.A., Dicu T., Papp B., Niță D.C., Begy R., Moldovan M., Burghel B., Sainz C., **Suciu L.**, *Scurtă descriere a metodelor de remediere a concentrațiilor de Radon implementate în 20 de case din zona minieră Băița- Bihor (România)*, Ecoterra, No. 36, pp. 17-21, 2013.
14. Darby S, Hill D, Deo H, Auvinen A, Barros-Dios JM, Baysson H, Bochicchio F, Falk R, Farchi S, Figueiras A, Hakama M, Heid I, Hunter N, Kreienbrock L, Kreuzer M, Lagarde

- F, Mäkeläinen I, Muirhead C, Oberaigner W, Pershagen G, Ruosteenoja E, Schaffrath Rosario A, Tirmarche M, Tomášek L, Whitley E, Wichmann H-E, Doll R. Residential radon and lung cancer—detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14 208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe. *Scand J Work Environ Health*; 32 suppl 1:1–84 (2006).
15. ERRICA, (2001), European Radon Research and Industry Collaboration Concerted Action, ERRICA 2: FIRI-CT-2001-20142, ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp5- Euratom/docs/fp5- Euratom_errica_2_projrep_en.doc
 16. Field RW, Krewski D, Lubin JH, Zielinski JM, Alavanja M, Catalan VS, Kloz JB, Letourneau EG, Lynch CF, Lyon JL, Sandler DP, Schoenberg JB, Steck DJ, Stolwijk JA, Weinberg C, Wilcox HB. An overview of the North American case-control studies of residential radon and lung cancer. *J Toxicol Environ A*; 69: 599-631 (2006).
 17. Gilligan P., Somerville S., Ennis J.T., *GSM cell phones can interfere with ionizing radiation dose monitoring equipment*, *British Journal of Radiology* (2000) 73, 994-998 <http://bjr.birjournals.org/content/73/873/994.short>
 18. Holmgren O., *Assessment of radon control technologies*, 2013, Radon: Rooms Meeting 2013, <http://www.fanc.fgov.be/fr/news/radon-rooms-meeting-2013/607.aspx>
 19. IARC, International Agency for Research on Cancer, Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 43, Man-made Mineral Fibres and Radon, Lyon (1988).
 20. Kappel W, Lucaci M., Recent material developments for electrical engineering applications, http://www.nipne.ro/activa- n_lab/Romanian_materials_of_the_future/presentations/W._Kappel-M_Lucaci.pdf, 2010
 21. Kertesz C. Z., Pana G., Ogrutan P., **Suciu L.**, *Microcontroller Based System for Radon Concentration Measurement and Data Transmission*, 13th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment, ISBN 978-1-4673-1653-8/12/2012 IEEE, p. 1247-1252
 22. Lamonaca, F., Vasile, M., Nastro, A., *Non-invasive monitoring of the relation between building materials and indoor radon pollution*, *Science, Measurement & Technology, IET*, Volume: 8 , Issue: 3, 2014 , Page(s): 150 – 154
 23. Lubin JH, Boice JD Jr., Edling C, Hornung RW, Howe G, Kunz E et al., *Radon and Lung Cancer Risk: A Joint Analysis of 11 Underground Miners Studies*, Washington, DC. US Department of Health and Human Services, Public Health Service, NIH Pub No. 94-3644 (1994).
 24. Lubin JH, Boice JD, Lung cancer risk from radon: meta-analysis of eight epidemiologic studies, *J. Natl. Cancer Inst.*, 89, p. 9–57 (1997).
 25. Moldovan M., Cucos- Dinu A, **Suciu L.**, Vald G., Cosma C., *Radonul din sol și influența asupra dozei anuale - Vârste absolute prin metode nucleare de datare*, Editura Quantum, ISBN 978-973-88835-0-5, pp. 181-194, 2008;
 26. Nachab, *Radon reduction and Radon Measurements at the Modane Underground Laboratory*, 2nd Workshop in Low Radioactivity Techniques, 2006, Aussois
 27. Ogrutan P., **Suciu L.**, Purghel L., Cosma C., *Metoda integrativa pentru masurarea radonului in aer. Influenta mediului electromagnetic*, revista EcoTerra nr. 12/2007, ISSN 1584-7071

28. Ogrutan P., **Suciu L.**, Purghel L., Cosma C. *Masurarea concentratiei de Radon in aer prin numararea impulsurilor*, revista EcoTerra nr. 13/2007, ISSN 1584-7071
29. Ogrutan P., Kertesz C.Z., Purghel L., **Suciu L.**, *Sistem pentru masurarea in timp real a concentratiei de Radon in aer si transmisia datelor din locatii multiple*, revista EcoTerra nr. 14/2007, ISSN 1584-7071
30. Ogrutan P., Purghel L., Cosma C., Kertesz. C. Z, **Suciu L.**, *Aspects regarding real time Radon measurement and GPRS data transmission*, Environment – Essential Problems, 10/2007, Edited by Babes Bolyai University of Cluj Napoca and ICPE Bistrita., ISSN 1584-6733, pag.297-302
31. Ogrutan P., Morariu G., Cosma C., **Suciu L.**, *Radon concentration measurements. Comparative data*, Environment – Essential Problems, 12/2008, Edited by Babes Bolyai University of Cluj Napoca and ICPE Bistrita., ISSN 1584-6733, pag.323-330
32. Ogrutan P., **Suciu L.**, Morariu G., Aciu L. E., *Susceptibility of Radon Measurement Device to Electric Fields*, Roumanian Journal of Physics, Volume 58, Supplement, pages S202-S209, 2013
33. Pershagen G, Akerblom G, Axelson O, Clavensjo B, Damber L, Desai G, Enflo A, Lagarde F, Mellander H, Svartengren M et al, Residential radon exposure and lung cancer in Sweden. *New England Journal of Medicine*, 330(3), p.159-164 (1994).
34. Pisa FE, Barbone F, Betta A et al., Residential radon and risk of lung cancer in an Italian alpine area, *Arch Environ Health*, 56, p. 208-215 (2001).
35. Poffijn A., *Results of a radon audit of remeadiated buildings from Romania*, Radon: Rooms Meeting 2013, <http://www.fanc.fgov.be/fr/news/radon-rooms-meeting-2013/607.aspx>
36. Purghel L., Morariu G., Ogrutan P., Alexandru M., Kertesz Z.C., **Suciu L.**, *Metoda si aparat pentru masurarea concentratiei de Radon in aer si transmiterea datelor la distanta*, brevet de inventie nr. 125125/2012
37. Quindós LS, Sainz C, Dinu A, Cosma C, Dicu T, Szacsai K, Gurzau E, Vasile C, Lorencz H, Lung cancer risk estimations: a comparison between Radon- Prone areas Stei (Romania) and Sierra de Guadarrama (Spain), *Proceedings of IRPA 2007 Regional Congress*, 24-28 septembrie, Brasov, Romania (2007).
38. Sainz C, Cucos- Dinu A, Dicu T, Szacsvai K, Quindós LS, Cosma C, Comparative risk assessment of residential radon exposures in two radon - prone areas, Stei (Romania) and Torrelodones (Spain), *Science of The Total Environment*, Manuscript Number STOTEN-D-08-01627 (in press).
39. Sandor GN, Poffijn A, Cosma C, *Indoor radon survey in a uranium area from Romania*, Radon in the living environment, 19-23 April, Athens, Greece, p. 207–208 (1999).
40. Simon W., Powers T., Ernberger G., Low-cost radon detector, US Patent 4871914, 1989, <http://www.google.com/patents/US4871914>
41. **Suciu L.**, Ogrutan P., Pana G., Cosma C., *Aspects Regarding Building materials with Electromagnetic and Radon Shielding Characteristics*, Eco Terra nr 17/2008, ISSN 1584-7071 pag 28-29
42. Tomasek L, Muller T, Kunz E, Heribanova A, Matzner J, Placek V, Burian I, Holecek J, Study of lung cancer and residential radon in the Czech Republic, *Central European Journal of Public Health*, 9(3), p. 150-3 (2001).

43. Truta L.A., Hofmann W., Cosma C., Suciu L., Expunerea la Radonul din interior și evaluarea riscului de cancer pulmonar a populației din județele Cluj și Bistrița Năsăud, Ecoterra, No. 28, pp. 175-180, 2011