

RADONUL IN DIFERITI FACTORI DE MEDIU DIN ROMANIA

C. Cosma¹, T. Jurcut²

¹Universitatea Babes-Bolyai Cluj-Napoca, Facultatea de Stiinta Mediului, 3400-Cluj-Napoca

²Universitatea din Oradea, Facultatea de Stiinte, 3700 - Oradea

Abstract

As an element with great mobility, impossible to fix through chemical reactions, and on the other hand being perpetually generated by radium sources in soil and building materials, radon is ubiquitous, therefore it is desirable to get to know more about one of the elements inextricably linked to our lives. Radon in dwellings requires special attention because both individual and collective doses owing to radon and its descendants are higher than those deriving from any other sources. People spend more than eighty per cent of their time indoors, and more than fifty per cent of their irradiation from different sources is provoked by radon. In many countries there are individual doses much higher than those accepted in professional exposure, as the case is for certain regions in ex-Eastern Germany, where uranium mining led up to an extreme high level of radon in dwellings.

Besides its major contribution to exposure to radiation, very important is the fact that its target is very precise - the lungs, especially the bronchial epithelium. There is therefore an increased risk of lung cancer occurrence, assumed to be proportional with the exposure

to higher concentrations in dwellings. A number of on-going studies try to estimate the risk factors. It was shown that radon is the second risk factor after smoking.

To exposure to radon in such cases should be amended through interventions and modifications dwellings and inhabitants' behavior. The International Commission for Radiological Protection (ICPR) recommended certain levels of action and such limits were established in many countries. Any national program concerning radon ought to consider three main aspects:

- ◆ to spot areas with increased radon potential at the country's scale,
- ◆ to deal in these areas with systematic measurements on samples from the dwelling zone,
- ◆ to recommend measure to be taken for the reduction of radon level in dwellings and to establish additional precautions for future buildings.

Along with this very important aspect of radon studies, radon application in geophysics is another vast field of study. In this domain we mention only the fact that the problem of radon utilization to forecast earthquakes has been seriously considered lately.

The present paper offers a useful material to those who wish to come into contact with the aspects mentioned above, either as information or as a brief scientific guide for those who work or want to work in this field. As succinct presentation concludes, the insignificant problem of radon has become nowadays a topic of broad interest.

The second part of this work presents some measurements and remarks about radon in different factors (air, water, soil) also studies on the radon exhalation rates from soil and some building materials.

1. Introducere

Cu toate ca radonul este unul dintre primele elemente radioactive descoperite, implicatiile acestuia in iradierea populatiei si mai ales dovada clara ca acest element este la originea celor mai multe cazuri de cancer pulmonar depistate la muncitorii din minele de uraniu a facut ca studiile de radon sa fie intens abordate în ultimul timp. In afara faptului ca radonul contribuie într-un procent foarte mare la iradierea corpului uman, tinta lui

este foarte precisa – plamanii- si în special epiteliul bronsic. Exista, asadar, un risc crescut de aparitie a unui cancer pulmonar, proportional cu expunerea la concentratii de radon. In prezent, pe plan mondial, se desfasoara multe studii epidemiologice care încerca sa estimeze acest factor de risc [1-3].

Fiind un element cu o mare mobilitate, neputând fi fixat prin reactii chimice, pe de o parte, si fiind generat continuu de sursele de radium din sol, degajandu-se din materialele de constructii pe de alta parte, radonul este omniprezent, deci este de dorit sa cunoastem cat mai mult despre unul din partenerii nostri nedespartiti. Comisia Internationala de Protectie Radiologica (ICRP) a recomandat anumite nivele de activitate si în multe tari aceste recomandari au stat la baza stabilirii unor doze limita precizate [4]. Orice program national de radon trebuie sa ia în considerare trei aspecte principale:

- ◆ depistarea zonelor cu un posibil potential crescut de radon,
- ◆ efectuarea de masuratori sistematice, în aceste zone, asupra unui numar cât mai mare de locuinte,
- ◆ recomandarea, la terminarea studiilor, a unor masuri de reducere a nivelului de radon din locuintele existente si stabilirea unui program cu masuri suplimentare care trebuiesc avute în vedere la construirea de noi locuinte.

Pe langa acest aspect foarte important al studiilor legate de radon un alt mare câmp de actiune îl constituie aplicatiile radonului în probleme de geofizica. In acest domeniu mentionam doar faptul ca în ultimii ani este luata serios în considerare problema utilizarii radonului la prognozarea unor cutremure de pamant [5].

Sunt cunoscuti astazi peste 20 de izotopi ai radonului, toti radioactivi, dintre care mai importanti sunt Rn-222 sau radonul, Rn-220 cunoscut sub denumirea de thoron si izotopul Rn-219 numit si actinon. Ei apar ca produci intermediari în familiile radioactive naturale ale U-238, Th-230 si U-235. Radonul este prezent peste tot în roci, în soluri, în apele superficiale si de adâncime, se degaja din materialele solide sau lichide, fiind prezent în aer, în atmosfera pesterilor si a minelor, în atmosfera exterioara cât si în interiorul locuintelor si, de asemenea, în gazele naturale, în concentratii foarte diferite. În multe ape si gaze naturale apare chiar fara prezenta radiului parinte, datorita procesului de difuzie sau transport prin crapaturile si fisurile rocilor, dizolvându-se în apele subterane. In atmosfera ajunge difuzând din sol, aceasta exhalatie formând fluxul de radon al scoartei terestre.

Exista cel putin trei aspecte diferite de mare importanta în ceea ce priveste studiile legate de radon:

Un prim aspect este legat de prezenta radonului si radiului in apele subterane (fântâni, ape minerale, ape geotermale, ape de zacamânt etc.). Pe lângă necesitatea cunoasterii dozei de radiatii primite de colectivitatea umana prin folosirea acestor surse de apa (ingestie, tratament balnear, inhalatia radonului emanat, activitati specifice subacvatice) cunoasterea continutului de radon din apele subterane este de mare interes în studiile de geofizica.

Al doilea aspect este legat de potentialul de radon din sol si exhalatia sau fluxul de radon provenit de la suprafata pamântului. În legatura cu acesta sunt foarte importante eventualele anomalii care pot pune în evidenta fie aglomerari de substante radioactive, fie prezenta unor falii

Tectonice. In ultimul timp s-a luat în considerare si se experimenteaza posibilitatea prevederii cutremurelor de pamânt cu epicentre localizate pe baza determinarilor variatiilor temporale ale fluxului de radon sau a concentratiei de radon din sol si din apele de adâncime, Fig.1, asa cum s-a observat in cazul cutremurelor Kobe-1997 din Japonia. La noi în tara a fost masurata “aposteriori” concentratia de radon din aer în zilele imediat urmatoare cutremurului de la 4 martie 1977, de catre Maria Zoran (IFA Bucuresti) gasindu-se o valoare foarte crescuta (de 15-20 ori valoarea normala) pentru concentratia de radon din aer.

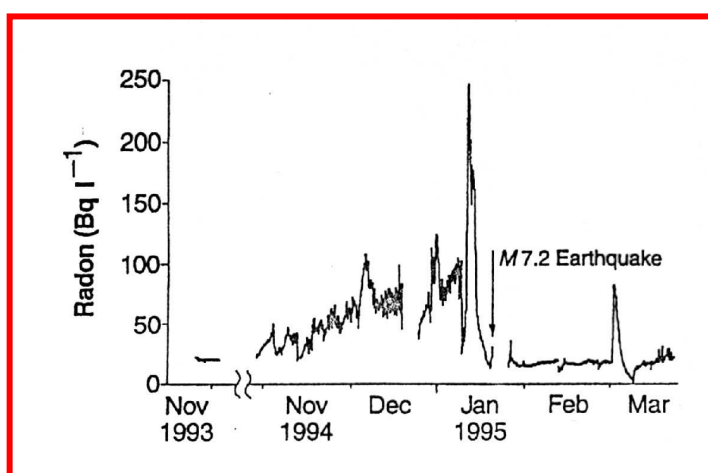


Figura 1. Semnalul dat de radonul din ape subterane pentru cutremurul Kobe-1996.

Al treilea aspect, foarte important, de asemenea este legat de radonul din interiorul locuinþelor. Daca în aerul exterior concentratia radonului este în medie 4-8 Bq/m³, depinzând foarte mult de conditiile geologice si meteorologice, în interiorul locuintelor, *prin acumulare*, el produce valori

normale de 20-80 Bq/m³ ducând, în unele cazuri, la valori de ordinul a 2000-4000 Bq/m³.

Valori marite se pot observa de asemenea în cazul lucrarilor din subteran, a celor din minele de uraniu, în industria producatoare de combustibil nuclear, sau în industria materialelor fosfatice e

Sursele principale ale radonului din locuinte sunt în ordinea importanței: exhalatia de radon din sol, emanatia din materialele de constructie componente ale locuintei, apa folosita pentru spalare si gatit precum si gazul utilizat în bucatarii sau în sobe pentru încălzit. Exista astazi în multe tari dezvoltate valori recomandate, unele chiar de interventie (200 Bq/m³ în Anglia), peste care trebuie actionat prin masuri suplimentare pentru reducerea nivelului de radon în locuinte.

2. Generarea si migrarea radonului

Eficienta radiului continut în sol la generarea radonului în pori si capilare depinde nu numai de concentratia acestuia ci si de fractiunea de atomi din sol si roci care sunt localizati la suprafata particulelor de sol sau la suprafata capilarelor în roci astfel ca atomii de radon formati prin dezintegrare sa poata scăpa în porii si capilarele solului.

Raportul dintre numarul de atomi astfel situati si numarul total de atomi de radon prezenti în proba se numeste coeficient de emanatie sau putere de emanatie. Există un domeniu foarte larg de variatie a acestei marimi de la 0,02 pentru lava la 0,76 pentru soluri. Acest coeficient de emanatie reflectă raportul dintre suprafata si volumul probei de sol, adica porozitatea probei.

Coeficientul de difuzie al atomului de radon în solide este de numai 10⁻⁷ față de cel din aer. Deci numai atomii formati foarte aproape sau pe

suprafata particulelor de sol pot îmbogati aerul din capilarele solului. Transferul de atomi de radon din grauntele mineral în capilarele solului este de asemenea dependent de peliculele de apă din porii interstitiali [6-8].

Cand cantitatea de apă din sol este foarte mare atunci transportul prin difuzie al radonului este îngreunat. Coeficientul de difuzie în apă al radonului este de 1000 de ori mai mic decât în aer. În situatii în care solul prezinta o umiditate pronuntata are loc o îmbogățire a solului în radon, fluxul de radon spre atmosferă micșorându-se. În Tabelul 5 sunt prezentate pe lângă concentrațiile radiului și valorile coeficientilor de emanatie, alaturi de fluxul de radon în diferite soluri.

Migrarea sau transportul radonului și thoronului de la locul de formare, adică grauntele mineral din sol, roca sau materialul de constructie spre aerul atmosferic sau aerul din interiorul locuintelor depinde de mai multi factori:

În solul de la suprafață procesele de transport pot fi divizate în două mari categorii:

- (1) procese microscopice în care difuzia și curgerea vâscoasă predomină
- (2) procese macroscopice în care apare un flux prin sparturi, fisuri și canalele subterane.

Pentru un mediu poros, omogen, marginit de atmosfera liberă, ecuația ce descrie concentrația de radon pentru starea staționară la un coeficient de difuzie D dat este:

$$-\frac{D}{\varepsilon} \frac{d^2 C}{dz^2} - \frac{1}{\varepsilon} \frac{d(vC)}{dz} - \lambda C + \Phi = 0 \quad (1)$$

unde ε este porozitatea solului, λ constanta radioactivă, f este viteza de generare a atomilor de radon pe unitatea de volum și care sunt liberi să migreze în spațiile interstiale iar v viteza de transport. Primul termen din ecuație reprezintă difuzia, al doilea transportul, iar al treilea viteza de dispariție a radonului prin dezintegrare. Dacă există numai difuzie moleculară cu condiția la limită $C=0$ pentru $z=0$ și $C=\Phi/\lambda$ pentru $z=\infty$ soluția ecuației este:

$$C = \frac{\Phi}{\lambda} \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{\varepsilon \lambda}{D} \right)^{1/2} z \right] \right\} \quad (2)$$

Mecanismul principal de transport al radonului în sol este difuzia obișnuită, cu sau fără contribuția mecanismului de transport. Coeficientul D pentru difuzia în volum este dependent de viteza medie moleculară și de liberul parcurs mijlociu fiind independent de raza capilarelor.

3. Fluxul terestru de radon

Viteza de transfer pe unitatea de suprafață în atmosferă, a radonului provenit de la suprafața pământului sau a unui material oarecare, se numește densitate de flux sau, mai pe scurt, flux de radon. În sistemul internațional unitatea de măsură este $\text{Bq/m}^2\text{s}$, sau $\text{atomi/m}^2\text{s}$. O altă unitate mai veche, încă folosită, este $\text{Ci/cm}^2\text{s}$. Acest flux de radon este dependent de foarte mulți factori. Ca valoare medie multianuală, într-un anumit loc pe glob, factorii determinanți sunt: concentrația de radon din sol, coeficientul de emanație și porozitatea solului iar ca factori variabili dar care pot influența foarte mult fluxul de radon la un moment dat pot fi enumerați: umiditatea solului (foarte variabilă mai ales pentru stratul de la suprafață), viteza vântului, curenții ascendenți de aer de la suprafață aparți de regulă datorită existenței inversiunii de temperatură și a trecerii de la perioada de noapte la

cea de zi, temperatura solului si gradientii de temperatura din sol, presiunea atmosferica si în special variatiile presiunii atmosferice, vegetatia si diferitele stadii ale culturii ce acopera solul. Plantele extrag o dată cu apa si radonul din sol prin radacini care apoi la nivelul frunzelor este cedat aerului atmosferic. De exemplu, în perioada de coacere a grâului s-au înregistrat deasupra lanului valori de două-trei ori mai mari decât de pe solurile alaturate în perioada de zi, în timp ce noaptea valorile au devenit egale.

Asa cum am spus, mecanismul de difuzie este modul dominant de migrare al radonului prin capilarele solului, cu conditia ca solul să fie neperturbat si nesaturat în apă. Pentru solurile nesaturate în apa dar perturbate, predomina mecanismul de transport. Astfel s-au înregistrat concentratii ridicate de radon în gaurile de forare din mine si în solurile perturbate de miscările seismice. În condiții normale s-a estimat ca distanta de migrare a radonului în sol variaza între 5m si 30m, în functie de natura solului. Pentru fluxul de radon normal la suprafata solului se poate folosi relatia dată de teoria difuziei

$$\phi = D_v C_0 \sqrt{\frac{\chi}{D_v p}} \exp\left(-h \sqrt{\frac{\chi}{D_v p}}\right) \quad (3)$$

în care D_v este coeficientul de difuzie volumică a radonului într-un mediu poros si omogen, p este porozitatea mediului, C_0 este concentratia radonului la adâncimea la care aceasta este constanta. Valoarea medie a fluxului de radon este de 10-20mBq/m²s deasupra uscatului si cu două ordine de marime mai mică (0,1-0,2mBq/m²s) deasupra oceanelor.

4. Masuratori asupra radonului si exhalatiei de radon din sol in Romania.

Radonul in sol si ape subterane

Masuratorile asupra radonului in sol au fost efectuate printr-o metoda speciala folosind pompajul activ, metoda ce a fost dezvoltata in laboratorul nostru in 1997. Modul de recoltare al gazului din sol reprezentat pe Figura 2 permite pe langa masurarea concentratiei radonului din aerul din sol si estimarea permeabilitatii solului. Dezvoltarea acestei metode se preteaza la obtinerea unui dispozitiv ieftin si eficace pentru determinarea potentialului de radon al unui anumit loc si poate deveni o metoda foarte utila in investigarea amplasamentelor pentru constructii.

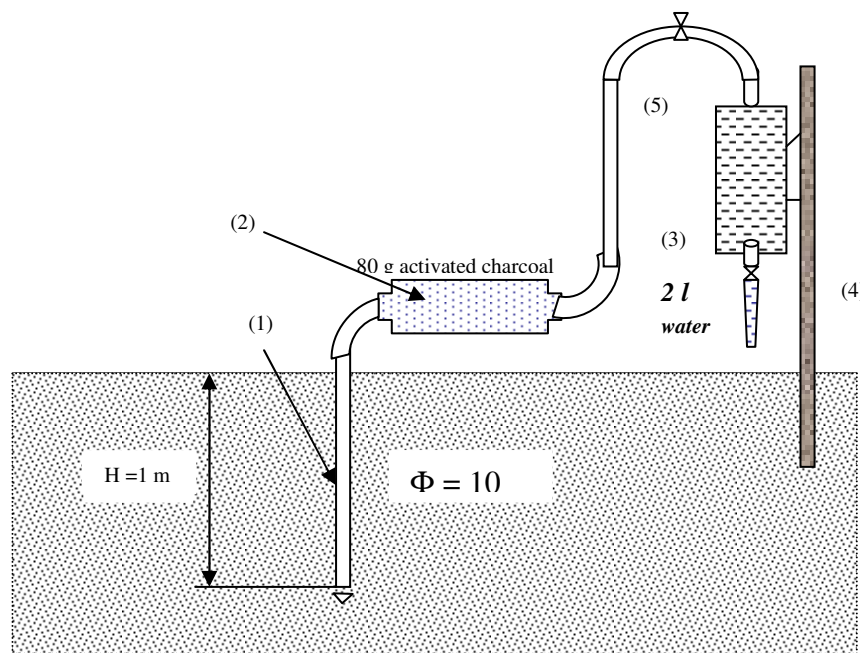


Figura 2. Dispozitivul utilizand pompajul pasiv pentru extragerea a radonului din sol.

In Figura 3 este prezentat profilul de radon obtinut utilizand acest dispozitiv din care s-a putut stabili prin interpolare cu o functie caracteristica de echilibru in conditii stationare atat lungimea de difuzie cat

si concentratia de echilibru pentru adancime mare iar in Tabelul 1 sunt date cateva determinari utilizand aceasta metoda pentru cateva locuri din Cluj-Napoca. In acest tabel sunt trecute si valorile determinate cu o alta metoda, metoda celulelor Lucas utilizate cu dispozitivul de masura LUK-3A. Exista o foarte buna concordanta intre masuratorile efectuate prin cele doua metode, asa cum se poate observa din acest tabel. In Figura 3 este prezentat o distributie a radonului in sol caracterizand orasul si imprejurimile Clujului. Masuratorile au fost efectuate pentru o adancime standard de 70 cm iar valorile gasite pentru cele 50 de locuri masurate variaza in intervalul 15-60 kBq/m³.

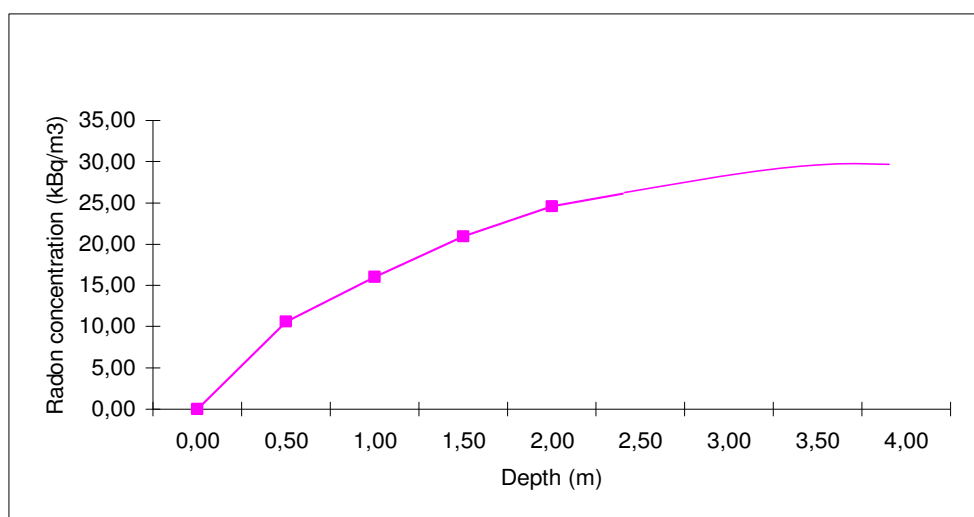


Figura 5. Profilul de radon din sol in conditii stationare

Tabelul 1. Continutul de radon din sol masurat prin doua metode

No	Sample	Absorption (kBq/m ³)	LUK 3A (kBq/m ³)
1	1CH05	8.95	8.62
2	1CH10	16.17	17.15
3	1CH15	21.69	21.08
4	2CO10	22.71	22.46
5	2CO15	27.33	28.10
6	3PB10	31.20	30.95

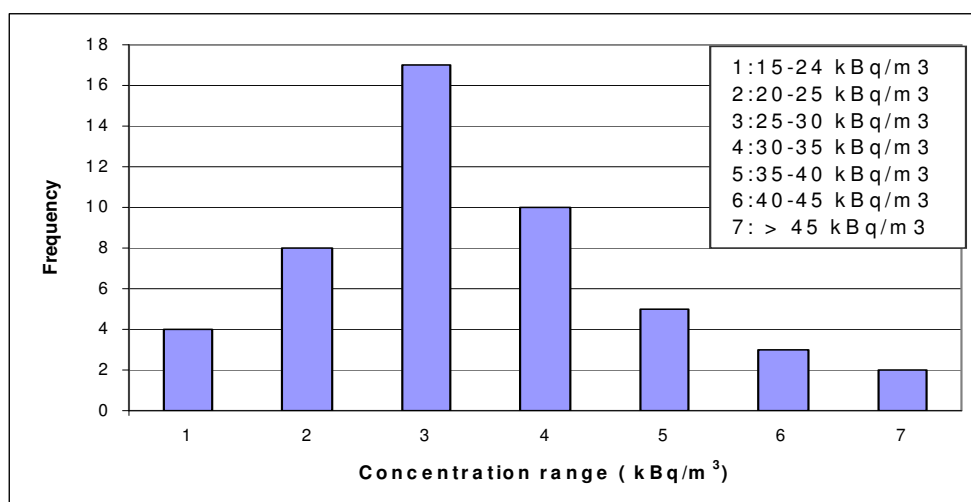


Figura 3. Distributia radonului in sol in zona Clujului

Masurarea radonului in apa s-a facut cu dispozitivul LUK 3A-VR care foloseste de asemenea celule Lucas dupa ce radonul din apa este scos prin agitare puternica cu ajutorul unui dispozitiv prezentat in Figura 4.

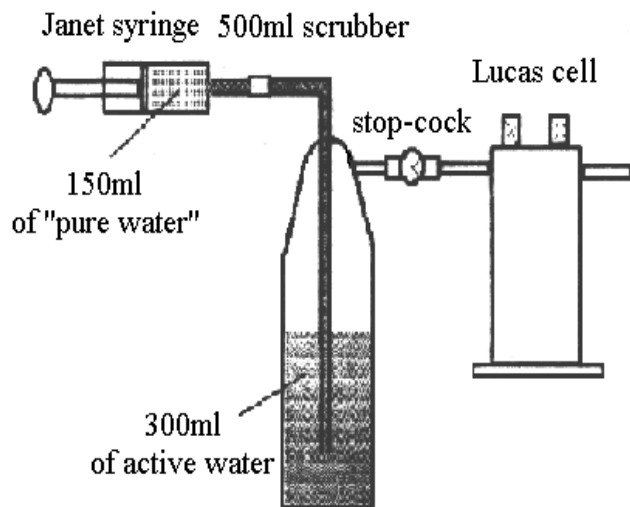


Figura 4. Dispozitivul LUK 3A-VR de recoltare a radonului din apa.

Variatia in reseaua de alimentare a Clujului in trei puncte de consum este prezentata pe Figura 5, urmarita pe o perioada de 8 luni in cursul anului 1998. Exista o diferenta mare intre cele trei puncte legata de provenienta apei: puturile de la Floresti sau lacul de la Tarnita. Se observa de asemenea o crestere semnificativa a continutului de radon incepand cu luna Iulie cand consumul de apa scade datorita plecarilor in concediu, fapt ce permite o acumulare a radonului in puturile de captare de la Floresti.

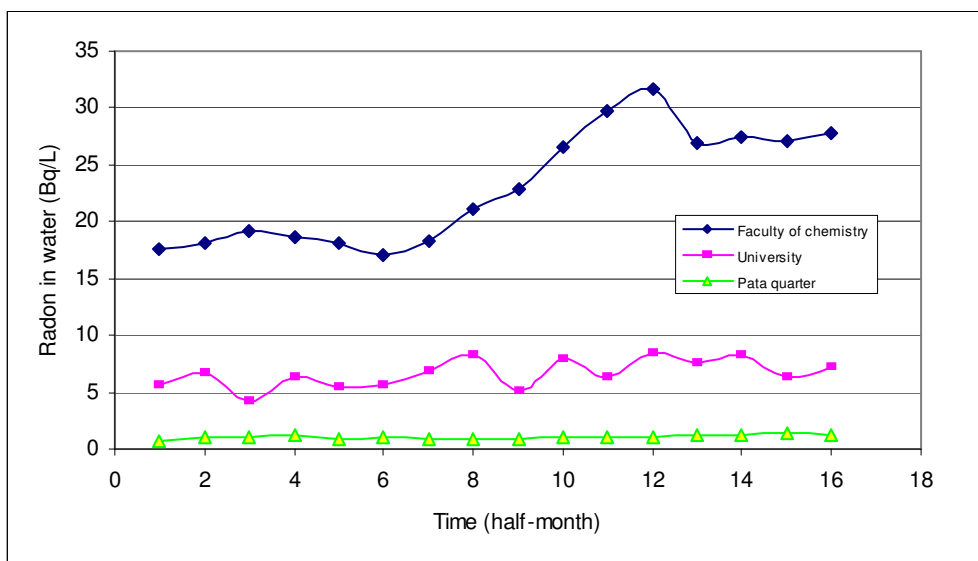


Figura 5. Variatia radonului in reseaua de alimentare cu apa din Cluj-Napoca

Masuratori de flux de radon

Metoda folosita in colectiv pentru masurarea fluxului de radon se bazeaza pe colectarea acestuia pe carbune activat si masurarea prin spectrometrie gamma a cantitatii astfel recoltate într-un interval de timp determinat. In Figura 6 este prezentata variatia fluxului de radon timp de o luna (Aprilie 1998) in zona aeroportului din Cluj-Napoca. Variatiile fluxului sunt corelate cu variatiile presiunii atmosferice in aceasta perioada.

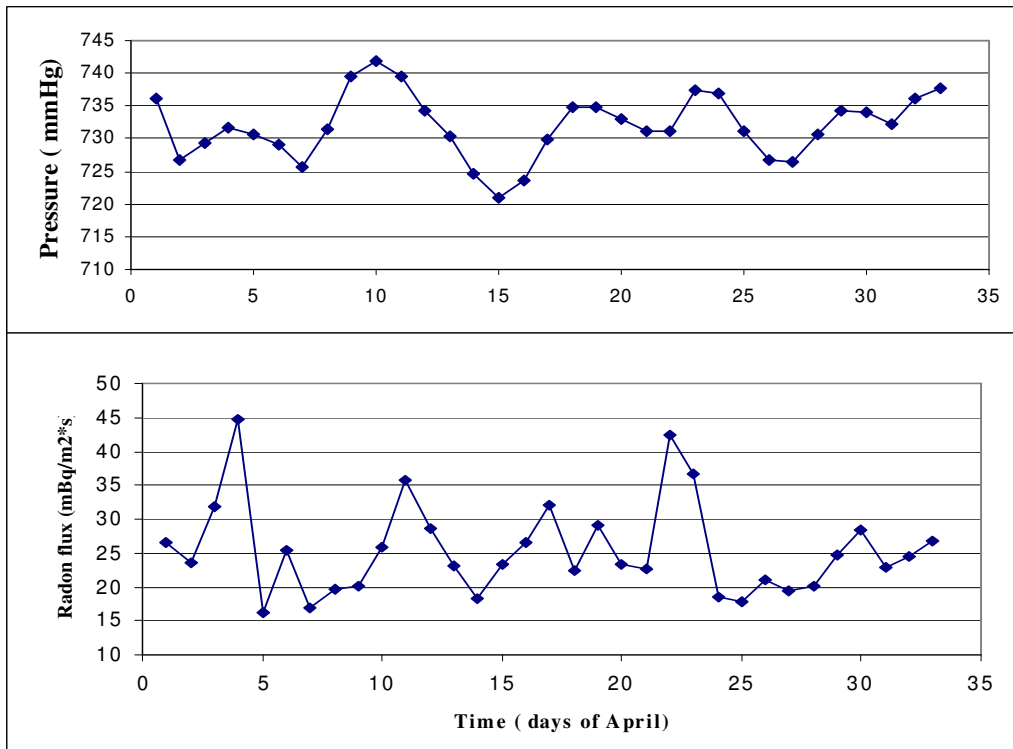


Fig. 6. Fluxul de radon în zona municipiului Cluj (mBq/m².s)

In cazul faliilor transversale din Valea Cernei in zona statiunii Baile Herculane fluxurile de radon sunt net mai ridicate pentru localizarile: Scorilo II, Argus I si Argus II, aceste surse geotermale fiind plasate tocmai pe aceste fracturi, Tabelul 2.

Tabelul 2. Fluxurile de radon din Valea Cernei in zona Herculane

No	Sursa	Fluxul de radon ($mBq\ m^{-2}\ s^{-1}$)				Media	Obs.
		Nov. 1994		Mar. 1995			
		Zi	Noapte	Zi	Noapte		
1	Ghizela	7.25	9.25	-	-	8.25	Sol pietros langa bazinul de inot
2	Spate calde	12.9	-	-	-	12.9	Roca granitica
3	Scorilo I	32.6	38	28	26	31.15	pasune
4	Scorilo II	-	-	60	68	64	Prezenta faliei
5	Cascada	18.1	24	21.3	26	22.35	Inceputul rocilor sedimentare
6	Argus I	75.2	-	-	-	75.2	Prezenta faliei
7	Argus II	156	190	193	240	194.8	Prezenta faliei
8	Pepa	15.9	26.1	17	19.	19.65	Sol agricol

7. Bibliografie

1. A. J. Gonzales, Effets biologiques des faibles doses de rayonnements ionisants:
On en sait plus. AIEA Bulletin, 4, 1994
2. B. L. Cohen, Test of the linear-no threshold theory of radiation carcinogenesis for inhaled radon decay products. Health Physics, **68**, 121-140, 1995

3. G. Perhagen, Z. Liang, Z. Hrubek, C. Svensson and J. Boice, Residential radon exposure and lung cancer in Swedish women. *Health Phys.*, **63**, 179-186, 1996
4. NRPB, Natural Radiation Maps of Western Europe, National Radiological Protection Board, Chilton, Didcot, Oxon, 1993
5. C. Cosma, D. Ristoiu, *Nuovo Cimento*, **22**, 317, 1999
6. I. Cosmuta, Radon generation and transport-A Journey through Matter, Thesis-Univ. Groningen
Cromatic Press, Baia-Mare, Romania, 2001, pg. 87-94.
7. S. Oberstedt and H. Vanmarke, *Radiat. Prot. Dosim.* Vol. **63**, 69-72, 1996
8. C. Cosma, F. Dancea, D. Ristoiu, T. Jurcut, *Appl. Rad. and Isot.*, **54**, 467-473, 2001