

### **Etapa III. Monitorizarea nivelului de radon in interior, sol si apa in judetele Arad, Alba, Sibiu, Maramures, Covasna si jumatate din Mures. Continuarea studiului de thoron. Experimente pentru determinarea factorilor de corectie sezoniera. Impactul perioadei de screening in estimarea concentratiei anuale de radon.**

#### **Rezumat**

*Monitorizarea nivelului de radon in interior, sol si apa in judetele Arad, Alba, Sibiu, Maramures, Covasna si jumatate din Mures. Continuarea studiului de thoron. Experimente pentru determinarea factorilor de corectie sezoniera. Impactul perioadei de screening in estimarea concentratiei anuale de radon*

In cadrul acestei etape au fost abordate si finalizate toate cele 7 activitatile prevazute in planul de realizare conform actului aditional Nr.2 la contractul de cercetare Nr.73/2012.

Astfel in cadrul primei activitati au fost distribuiti detectorii de urme de tipul RSKS pentru masuratori integrate in toate cele 6 judetele prevazute pentru anul 2014. In fiecare din gridurile racordate la sistemul European al hartii de radon (10x10 Km), s-au distribuit cate 5 detectori iar in gridurile cu populatie mai putina un numar variabil intre 2 si 4. Cu diferenta au fost suplimentate gridurile cu populatie mai densa. A fost elaborat si un pliant care descrie pe scurt pentru populatie sarcinile, misiunea si importanta actiunii de elaborare a hartii de radon pentru a usa actiunea de plasare a acestor detectori.

Concomitent cu distributia detectorilor pe griduri au fost completate chestionare insotitoare pentru fiecare locuinta incluzand parametrii constructivi ai casei, localizarea exacta (coordonate GIS) si informatii despre alimentarea cu apa (activitatea a doua).

In cazul activitatii a III-a s-au efectuat de masuratori de radon in sol si apa, determinarea dozei gamma externe si interne. S-a completat stocul de detectori pentru continuarea in 2015 (prima parte). Pentru masuratorile de radon in sol si rezidential s-a participat si in acest an la doua exercitii de intercomparare unul in Praga (septembrie, 2014) si unul in Japonia (National Institute of Radiological Science and Technology) cu detectori expusi in conditii standardizate de radon. Am primit rezultatele intercompararii din Japonia din 2013 (bune) si am efectuat mai multe masuratori in camera proprie de radon pentru a urmari daca exista sau nu efecte privind pastrarea detectorilor inainte de a fi expusi.

Masuratorile de doze gama se bazeaza pe intercompararea din 2011 efectuata in cadrul Exerciitiului international de la Selicac del Cicho-Spania (dozimetre Gamma Scout) iar pentru masuratorile prin termoluminiscenta din judetul Cluj s-a efectuat un studiu complet asupra dozimetrelor MCP-N si s-au etalonat detectorii pentru masuratori in teren. S-a elaborat o harta a dozelor gama prin masuratori cu dozimetre termoluminiscente a judetului Cluj. A fost completat stocul de detectori prin achizitia a inca unui numar de 263 de detectori de urme, care urmeaza a fi plasati pe perioada de iarna, 2014/2015.

Au fost plasati, prelucrati si cititi detectorii de radon-thoron si de asemenea au fost facute masuratori in apartamente din blocuri. Determinarea variatiilor sezoniere a radonului de interior s-a efectuat atat in cazul apartamentelor din bloc cat si in cazul caselor.

Ultima etapa a constat in prelucrarea si citirea detectorilor de urme pentru radonul de interior, a interpretarii si prelucrarii statistice a datelor de radon in apa, sol si rezidential in scopul incadrarii lor in viitoarea harta de radon si a publicatiilor viitoare.

*S-au publicat in reviste ISI 15 lucrari (aparute) iar alte 6 sunt acceptate si se afla in curs de publicare.*

*Alte 4 lucrari s-au publicat in procedingsuri la conferinte sau reviste recunoscute CNCISIS.*

*S-a participat la conferinta internationala RAD 2014 din Serbia (Mai, 24-28) cu o lucrare invitata (Radon Status in Romania), una orala si 4 poster. Alta prezentare orala a fost sustinuta la Conferinta de radon din Praga (12-14 Septembrie, 2014) unde de asemenea au fost prezentate si 1 lucrare poster.*

*La conferinta EGU-2014 din Viena (Mai, 2014) s-a prezentat poster o lucrare.*

*S-au prezentat deasemenea lucrari orale si poster la: Conferinta Societatii Romane de Radioprotectie (Bucuresti, Octombrie, 24); THE CENTRAL AND EASTERN EUROPEAN CONFERENCE ON HEALTH AND ENVIRONMENT, THE 4TH EDITION, CLUJ-NAPOCA 25-30 MAY 2014; Conferinta de Fizica, Timisoara, 2014*

## RAPORT SINTETIC

### III. 7. Developarea detectorilor, analiza rezultatelor si prelucrarea statistica

In aceasta sectiune prezentam rezultatele obtinute pentru judetele incluse in studiu in aceasta faza. Mentionam ca judetul Mures a fost monitorizat si raportat in Etapa II, in intregime. Au fost facute insa masuratori suplimentare in judetele Hunedoara si Bihor iar datele din tabelele urmatoare au fost luate in calcul la prelucrarea statistica. Tabelul 16 prezinta situatia masuratorilor de radon in apa, incluzand numarul de probe, valorile maxime si minime masurate precum si mediile statistice (aritmetica, geometrica si valoarea medie). In afara de Maramures mediana (valoarea medie) si media geometrica sunt apropiate ceea ce favorizeaza o distributie log-normală, pentru Maramures trebuie fie considerate mai multe date fie considerarea unei distributii dublu log – normale [28 ] asa cum se poate intalni si in alte cazuri. Fata de rezultatele preliminare despre radonul in ape din Transilvania publicate in lucrarea [29] , media din acest tabel pentru intreaga regiune cuprinsa in acest tabel este mai mica cu aproape 50%. Credem ca aceasta diferenta are 2 cauze: prima este legata de supraestimarea rezultatelor din lucrarea amintita (~30%) unde s-a folosit un factor de calibrare necorespunzator, descoperire facuta cu ocazia participarii la intercompararea din Spania Salice del Chico, raportata in etapa trecuta iar a doua cauza este legata de modul de recoltare a probelor in aceasta campanie, cand echipele in cazul in care nu au avut fantani in curtea rezidentului (sau erau inchise) au recoltat direct de la robinetul din gospodarie (poate alimentat de la o sursa comuna) unde evident ca valoarea este mia mica. Aceasta ipoteza este sustinuta de valorile minime foarte mici (coloana 3), in general sub 1 Bq/l. Se stie ca valorile minime pentru ape din fantani sau izvoare nu pot fi in general mai mici de 2-4 Bq/l. Aceasta situatie atrage atentia asupra a doua aspecte:

- importanta participarii la exercitii de intercomparare
- necesitatea respectarii protocolului de masurare

In plus, avand in vedere valorile constant mici obtinute de echipa Sapienia pentru Covasna si de echipa Bistrita pentru cele din judetul Bistrita de anul trecut (etapa II) se impune o noua intercalibrare intre laboratoare.

**Tabel 16.** Statistica descriptivă privind activitatea radonului în apă (Bq/l)

Județul	Nr.	Minim	Maxim	M.A.	S.D.	Mediana	M.G.
Alba	87	0.4	74	11.1	10.9	9.0	7.6
Sibiu	161	0.1	233	14.6	26.6	6.6	7.5
Maramureș	40	0.5	20	9.6	5.3	10.6	7.7
Arad	127	1.2	27	10.2	5.6	8.8	8.7
Bihor	260	0.4	103	10.1	11.6	6.5	6.7
Hunedoara	288	3.2	34	11.4	4.8	11.2	10.5
Covasna	61	0.3	7.1	2.5	1.7	1.9	1.9
<b>Total</b>	<b>1024</b>	<b>0.1</b>	<b>233</b>	<b>10.8</b>	<b>13.1</b>	<b>8.4</b>	<b>7.5</b>

M.A. = media aritmetică; S.D.= deviația standard; M.G.=media geometrică

Alte observatii legate de Tabelul 16: Media aritmetică pentru concentrația radonului din apă a fost de 10.8 Bq/l, media geometrică (7.5 Bq/l) fiind de aprox. două ori mai mare față de valoarea determinată (4.4 Bq/l) în prima etapă a acestui proiect pentru 540 de măsuratori. Valorile maxime au fost înregistrate în județul Sibiu, localitatea Săliște (233 Bq/l), respectiv în județul Bihor, localitatea Pădurea Neagră. Pentru nivelul de semnificație de  $\alpha=0.05$ , datele experimentale au prezentat o

distribuție log-normală doar pentru județele Bihor, Hunedoara și Covasna. Prin aplicarea testului neparametric Kruskal-Wallis cu analiza posthoc Dunns, pentru nivelul de semnificație ales s-a înregistrat o diferență semnificativă statistic pentru medianele specifice activităților înregistrate în județul Covasna în raport cu restul județelor, respectiv județul Hunedoara în raport cu Alba, Sibiu, Arad și Bihor.

**Tabel 17.** Statistica descriptivă privind concentrația radonului din sol (kBq/m<sup>3</sup>)

Județul	Nr.	Minim	Maxim	M.A.	S.D.	Mediana	M.G.
Alba	155	0.8	94.7	29.0	18.3	26.6	22.3
Sibiu	137	1.0	90.4	26.0	16.7	23.6	20.6
Maramureș	128	0.16	63.2	30.3	10.8	29.1	27.5
Arad	80	12.3	41.2	24.7	7.2	23.7	23.7
Bihor	235	2.4	126.1	37.0	19.4	33.0	31.8
Hunedoara	287	8.5	169.1	36.0	18.1	32.5	32.7
Covasna	55	3.0	42.9	26.3	8.1	25.6	24.7
<b>Total</b>	<b>1077</b>	<b>0.16</b>	<b>169.1</b>	<b>31.9</b>	<b>17.2</b>	<b>29.3</b>	<b>27.4</b>

M.A. = media aritmetică; S.D.= deviația standard; M.G.=media geometrică

Tabelul 17 prezinta stastica masuratorilor in sol. Media aritmetică a concentrației de radon din sol, în urma a 1077 de măsurători, a fost de 31.9 kBq/m<sup>3</sup>, apropiată celei de 27.5 kBq/m<sup>3</sup>, înregistrată pentru cele 675 de măsurători în etapa anterioară. Media geometrică calculată pentru cele 1077 de măsurători este cu aprox. 30% mai ridicată decât cea obținută în etapa anterioară. Valorile maxime au fost înregistrate în județul Hunedoara, localitatea Vadu Dobrii (169.1 kBq/m<sup>3</sup>), respectiv în județul Bihor, localitatea Santion (126.1 kBq/m<sup>3</sup>). Cele mai scăzute concentrații au fost înregistrate în județul Maramures, respectiv Alba. Prin aplicarea testului neparametric Kruskal-Wallis cu analiza posthoc Dunns s-a obținut pentru nivelul de semnificație de 0.05 o diferență semnificativă statistic între medianele județelor Bihor, respectiv Hunedoara și restul județelor investigate.

Pentru masuratorile de radon in sol se constata o buna apropiere dintre mediana si media geometrica ce este caracteristica unei distributii log normale, mai putin evidenta in cazul judetului Alba unde aceasta diferenta este mai mare. Aici s-ar putea sa avem de a face cu doua surse cu contributi diferite: partea muntoasa care participa cu valori mai mari si respectiv partea de platou (campie) caracterizata de valori generic mai mici. O alta observatie ce rezulta la studiul acestui tabel este legata de valorile minime obtinute (coloana 3). La adancimea de 60-80 cm recomandata de protocol nu prea exista in general valori mai mici de 6-10 kBq/mc, asa cum se observa pentru echipa cea mai calificata din judetele Arad si Hunedoara. Valorile mici si foarte mici din aceasta coloana pentru celelalte judete se datoresc in primul rand permeabilitatii foarte mici a solului (eventual saturat in apa) si atrag atentia unei aprecieri necorespunzatoare "in situ" a echipelor care au participat la masuratori, fortand extractia, caz in care probele au fost impurificate cu aer atmosferic. Se impune si in acest caz o instruire suplimentara a personalului care participa la masuratori. Participarea la mai multe intercomparari a echipei din judetele Arad si Hunedoara (Moldovan, Papp, Burgele), de cateva ori in Republica Ceha, odata in Spania si odata in Serbia a facut ca rezultatele obtinute de acestia sa fie, cu putine exceptii, reprezentative si de incredere.

In tabelul 18 prezentam datele obtinute la ultima intercomparare din Cehia de catre aceasta echipa.

**Tabel 18. RIM 2014 - Radon comparison measurement at reference sites Czech Republic**

Name of organization: Babes-Bolyai University, Faculty of Environmental Science and Engineering

Station No.	Cetyne		Buk	
	Depth	$c_A$	Depth	$c_A$
	m	$\text{kBq/m}^3$	m	$\text{kBq/m}^3$
1	80	0.3	80	155.8
-//-	50	37.75		
2	80	47.62	80	207.9
3	80	41.85	80	216.2
4	50	29.23	80	223.5
5	80	45.61	80	145.15
6	80	water	80	156.2
-//-	50	50.45		
7	70	40.18	80	263.1
8	80	22.56	80	214.8
9	80	1.82 (water)	80	138.4
-//-	50	27.71		
10	80	water	80	226.6
-//-	60	31.26		
Additive measurements (Cetyne)				
11	80	0.3		
12	80	0.17		
13	80	0.3		

Se poate observa din acest tabel ca echipa a fost pusa in fata celor doua situatii discutate mai inainte, adica sol cu umiditate foarte mare si de asemenea locatie cu permeabilitate foarte mica (punctele 11, 12 si 13 de la Cetyne). Urmeaza ca organizatorii sa trimita rezultatele finale din care sigur va rezulta inca odata profesionalismul echipei de care am amintit

### **Radonul rezidential**

Concentrația radonului rezidențial a fost determinată în urma a 1468 de măsurători și s-a obținut o medie aritmetică de  $163 \text{ Bq/m}^3$ , Tabel 19. Valoarea obținută este cu aprox. 30% mai ridicată decât cea raportată de Cosma et al [28] în urma a 864 de măsuratori, majoritatea efectuate în Transilvania. Diferența poate fi pusă pe seama faptului că valoarea prezentată în acest raport este una sezonieră, urmând a fi corectată cu un factor specific sezonului în care au fost amplasați detectorii pentru obținerea concentrației anuale. O alta cauza pe care urmeaza sa o verificam, prin participarea la o noua intercomparare ar putea fi adusa de factorul de calibrare necorespunzator al instalatiei din dotare. In acest caz valorile finale care vor fi utilizate la harta finala a regiunii acestui studiu vor fi corectate tinand seama de acest lucru. Din tabelu 4 din acest raport se poate observa ca pentru concentratii medii si mici valorile noastre raportate la intercompararea din NIRST sunt tocmai cu acest procent mai mare. Aceasta in cazul detectorilor din seria A cu care am avut si alta problema (vezi prima parte). Expuneri mai mari decat cele reale se pot obtine si in cazul in care detectorii sunt pastrati (dupa recoltare) mai mult timp inainte de a fi prelucrati. În tabelul de mai jos se poate observa o discrepantă majoră între concentrația obținută pentru județul Bihor și restul județelor monitorizate. O medie aritmetică similară ( $292 \text{ Bq/m}^3$ ) a fost raportată de Cosma et al. (2013) în urma a 884 măsurători efectuate în zona Băița-Ștei (județul Bihor). Exceptând județele Sibiu,

Hunedoara și Maramureș, distribuția concentrației de radon rezidențial este de tip log-normal (testul Shapiro-Wilk,  $p > 0.05$ ).

Dintre valorile obținute, 8% sunt superioare concentrației de  $400 \text{ Bq/m}^3$ , respectiv 1.1% celei de  $1000 \text{ Bq/m}^3$ . Prin aplicarea testului neparametric Kruskal-Wallis cu analiza posthoc Dunns, după excluderea județului Bihor, pentru nivelul de semnificație de 0.05, s-a înregistrat o diferență semnificativă statistic doar între medianele județelor Sibiu și Maramureș.

O prelucrare critica a întregii baze de date existente, inclusiv se va face la sfarsitul proiectului cand va trebui sa includem toate masuratorile (prezente si viitoare) in Harta European de Radon (HER)

In Tabelul 20 si in Fig. 4 si 5 sunt prezentate rezultatele masuratorilor asupra dozelor gama (in exterior si interior) efectuate cu dozimetre gama de tipul Gamma Scout.

**Tabel 19.** Statistica descriptivă privind concentrația radonului rezidențial ( $\text{Bq/m}^3$ )

Județul	Nr.	Minim	Maxim	M.A.	S.D.	Mediana	M.G.
Alba	231	5	943	124	131	81	84
Sibiu	228	4	522	94	74	75	74
Maramureș	85	30	1100	155	173	92	109
Arad	148	14	857	144	142	95	97
Bihor	363	12	3370	272	384	153	162
Hunedoara	269	11	721	144	143	97	92
Covasna	144	17	454	118	87	94	92
<b>Total</b>	<b>1468</b>	<b>4</b>	<b>3370</b>	<b>163</b>	<b>229</b>	<b>99</b>	<b>102</b>

M.A. = media aritmetică; S.D.= deviația standard; M.G.=media geometrică

**Tabel 20.** Statistica descriptivă privind doza gama în exterior ( $\mu\text{Sv/h}$ )

Județul	Nr.	Minim	Maxim	M.A.	S.D.	Mediana	M.G.
Alba	43	0.05	0.23	0.13	0.04	0.13	0.13
Sibiu	130	0.08	0.27	0.13	0.03	0.12	0.12
Maramureș	128	0.11	0.23	0.15	0.02	0.15	0.15
Bihor	207	0.08	0.26	0.14	0.03	0.13	0.14
Hunedoara	287	0.10	0.19	0.12	0.02	0.12	0.12
Covasna	142	0.01	0.25	0.13	0.05	0.12	0.11
<b>Total</b>	<b>937</b>	<b>0.01</b>	<b>0.27</b>	<b>0.14</b>	<b>0.04</b>	<b>0.13</b>	<b>0.13</b>

M.A. = media aritmetică; S.D.= deviația standard; M.G.=media geometrică

Pentru doza gama monitorizată cu ajutorul aparatului Gamma Scout în exterior s-au înregistrat valori în domeniul  $0.01 - 0.27 \mu\text{Sv/h}$ , media aritmetică fiind de  $0.14 \mu\text{Sv/h}$ , similară celei obținute în etapa aterioră ( $0.15 \mu\text{Sv/h}$ ). Dozele cele mai ridicate au fost înregistrate în județul Sibiu, respectiv Bihor.

Prin aplicarea testului one-way ANOVA și analiza posthoc Bonferroni s-au înregistrat diferențe semnificative statistic, pentru nivelul de semnificație de 0.05, între mediile aritmetice aferente județului Maramureș în raport cu toate celelalte județe, respectiv între Bihor și Sibiu, Hunedoara, respectiv Covasna (Fig. 4). Prin aplicarea coeficientului de corelație Spearman, s-a observat existența unei corelații semnificative statistic ( $r_s = 0.34$ ,  $p < 0.001$ ,  $n = 709$ ) între doza gama înregistrată în interiorul, respectiv exteriorul casei (Fig. 5). Media geometrică a raportului doza gama exterior/interior este de 0.95, cu limitele cuprinse între 0.07 și 3.5.

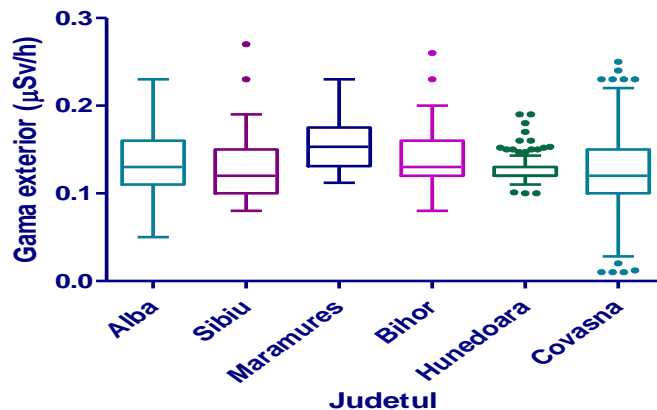


Fig. 4. Distribuția dozei gama funcție de județ (datele sunt reprezentate prin diagrama de tip Box &

#### REFERINTE SELECTIVE

1. Papp Botond, Alexandra Cucos Dinu, Constantin Cosma, International Intercomparison Exercise on Natural Raduation measurement under Field Conditions, Romanian Journal of Physics, Vol. 58, S210-S220, 2013
2. G. Zeciu-Dolha, M., Timar-Gabor, A., Camenița, A., Costin, D., Cosma, C., Gamma background measurements by tl method: Applications in locations with varied geological context , Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, 8, (4), 109-114, 2013
3. M. Dolha-Zeciu, A. Timar, C. Cosma et al., A high-resolution map of gamma dose rates in Cluj Country, Romania, using LiF:Mg,Cu,P detectors, Radiation Protection Dosimetry, 2014, doi:10.1093/rpt/ncu209
24. C. Cosma, K. Szacsvai, A. Dinu, D. Ciorba, T. Dicu, L. Suci, *Preliminary integrated indoor radon measurements in Transylvania (Romania)*, Isotopes in Environmental and Health Studies, Vol.45, No. 3, 259–268 (2009)
25. Cosma, C., Ciorba, D., Timar, A., Szacsvai, K., Dinu, Al. Radon exposure and lung cancer risk in Romania, Journal of Environmental Protection and Ecology, 10 (1), pp. 94-103, 2009
26. Cosma, C., Ristoiu, D., Poffijn, A., Meesen, G. Radon in various environmental samples in the Herculane Spa, Cerna Valley, Romania , Environment International , 22 (SUPPL. 1), pp. S383-8388
27. Muntean, L.E., Cosma, C., Cucos Dinu, A., Dicu, T., Moldovan, D.V. Assessment of annual and seasonal variation of indoor radon levels in dwelling houses from Alba County, Romania , Romanian Journal of Physics , 59 pp. 163-171, 2014
28. Sainz, C., Dinu, A., Dicu, T., (...), Cosma, C., Quindós, L.S. Comparative risk assessment of residential radon exposures in two radon-prone areas, Ștei (Romania) and Torreldones (Spain) , Science of the Total Environment , 407 (15), pp. 4452-4460, 2009
29. Cosma, C., Moldovan, M., Dicu, T., Kovacs, T. Radon in water from Transylvania (Romania) , Radiation Measurements , 43 (8), pp. 1423-1428, 2008