

*radon, woda podziemna, skały metamorficzne,
Masyw Łądko - Śnieżnika*

Anna ADAMCZYK - LORENC*, Paweł GOLDSZTEJN*

ROZKŁAD STĘŻEŃ RADONU W WODACH PODZIEMNYCH METAMORFIKU ŁĄDKA – ŚNIEŻNIKA

W pracy prześledzono rozkład radonu na obszarze masywu metamorficznego Łądko - Śnieżnika. Badania stężeń radonu przeprowadzono w Laboratorium Hydrogeologicznym w Instytucie Górnictwa Politechniki Wrocławskiej przy użyciu komory jonizacyjnej AlphaGUARD niemieckiej firmy Genitron Instruments GmbH.

1. WSTĘP

Radon jest gazem radioaktywnym bardzo dobrze rozpuszczalnym w wodzie. W wodach podziemnych powstaje głównie z rozpadu ^{226}Ra (rad) zawartego w skałach. Trzy naturalne izotopy radonu to ^{219}Rn (aktynon) z szeregu uranowo - aktynowego, ^{230}Rn (toron) z szeregu torowego i ^{222}Rn (radon). Występują one wspólnie z uranem i torem. W minerały torowe i uranowe najbogatsze są kwaśne skały magmowe, zwłaszcza kontynentalnej skorupy ziemskiej (Miliszkiewicz, 1978; Polański, 1988; Solecki, 1997).

Obecność radonu w litosferze nie ogranicza się tylko do minerałów uranowych i torowych będących jego źródłem. Wszystkie grunty i skały zawierają ten pierwiastek, chociaż w niezmiernie małej ilości (Miliszkiewicz, 1978). Stężenie ^{222}Rn w typowym gruncie wynosi od 4 do 40 $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ (Eisenbud i Gessel, 1997). W litosferze zwartej, nie przepuszczającej gazów, radon (^{222}Rn) pozostaje w równowadze promieniotwórczej ze swoim pierwiastkiem macierzystym – radem (^{226}Ra) (Miliszkiewicz, 1978).

Stężenie ^{222}Rn w wodach podziemnych jest związane z występowaniem ^{226}Ra w skałach zbiornikowych (Przylibski, 1997), a więc jest wyższe jeżeli źródło wody pochodzi ze skał krystalicznych, a zwłaszcza z granitów, a niższe jeżeli są to skały pochodzenia osadowego (tabela 1).

* Instytut Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, pl. Teatralny 2, 50-051 Wrocław,
e-mail: anna.adamczyk@pwr.wroc.pl

Tabela 1

Zawartość ^{226}Ra w skałach pochodzących z Dolnego Śląska (Przylibski, 2004)

Typ skały	Zawartość ^{226}Ra w skałach [Bq/kg]	
	Średnia arytmetyczna	Odchylenie standardowe
gnejs	63,7	48,2
granit	64,8	31,4
łupek łyszczykowy	33,0	13,1
piaskowiec	12,8	10,7
marmur	3,7	2,4
granitognejs	50,4	31,4
kwarcyt	3,3	1,9
leukogranit	55,3	16,5
zlepieniec	9,0	4,6
granodioryt	45,0	13,1

Pomiary stężeń ^{222}Rn w wodach podziemnych pozwalają na wyznaczenie obszarów występowania wód o podwyższonym stężeniu tego izotopu. Może być to wykorzystane zarówno w ochronie radiologicznej ludności zamieszkującej obszary o podwyższonym potencjale radonowym, jak i w balneologii.

Badania stężeń radonu w wodach podziemnych były przeprowadzone na terenie Ziemi Kłodzkiej. Na podstawie 109 oznaczeń wykonanych w latach 2003-2005 stwierdzono, że obszarem o najwyższej koncentracji radonu w wodach podziemnych jest metamorfik Łądko-Śnieżnika (Adamczyk, 2005). Dokładny opis metodyki pobierania prób i pomiarów znajduje się w artykule Przylibskiego i Adamczyk (2003).

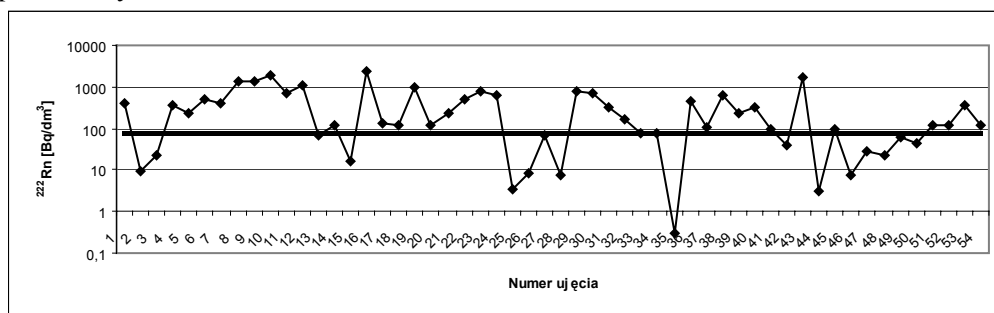
Wody podziemne zawierające w 1dm^3 radon w ilości, której odpowiada aktywność promieniotwórcza 74 Bq (2nCi), są wodami radonowymi i mogą być uznane za lecznicze odpowiednim Rozporządzeniem Rady Ministrów (Dowgiało, 2002).

2. BUDOWA GEOLOGICZNA OBSZARU BADAŃ

Metamorficzny Masyw Łądko – Śnieżnika położony jest w południowo - wschodniej części Ziemi Kłodzkiej. Graniczy od północy i północnego zachodu z intruzją granitoidową kłodzko - złotostocką, od południowego zachodu z rowem górnej Nysy Kłodzkiej. Metamorfik Łądko - Śnieżnika zbudowany jest ze skał przeobrażonych, głównie gnejsów i łupków łyszczykowych, z których pochodzą wszystkie składniki rozpuszczone w wodach. Ogólnie skały krystaliczne zajmują około 95% powierzchni jednostki, pozostałą część stanowią trzeciorzędowe i czwartorzędowe osady związane głównie z dolinami rzek. Skały krystaliczne pokryte są z reguły warstwą zwietrzliny i rumoszu o zmiennej grubości, malejącej na wierzchołkach wzgórz, na grzbietach i na bardzo stromych zboczach, gdzie często na powierzchni pojawiają się skały krystaliczne (Oberc, 1972; Smulikowski, 1979).

3. STĘŻENIA RADONU W WODACH PODZIEMNYCH METAMORFIKU ŁĄDKA-ŚNIEŻNIKA

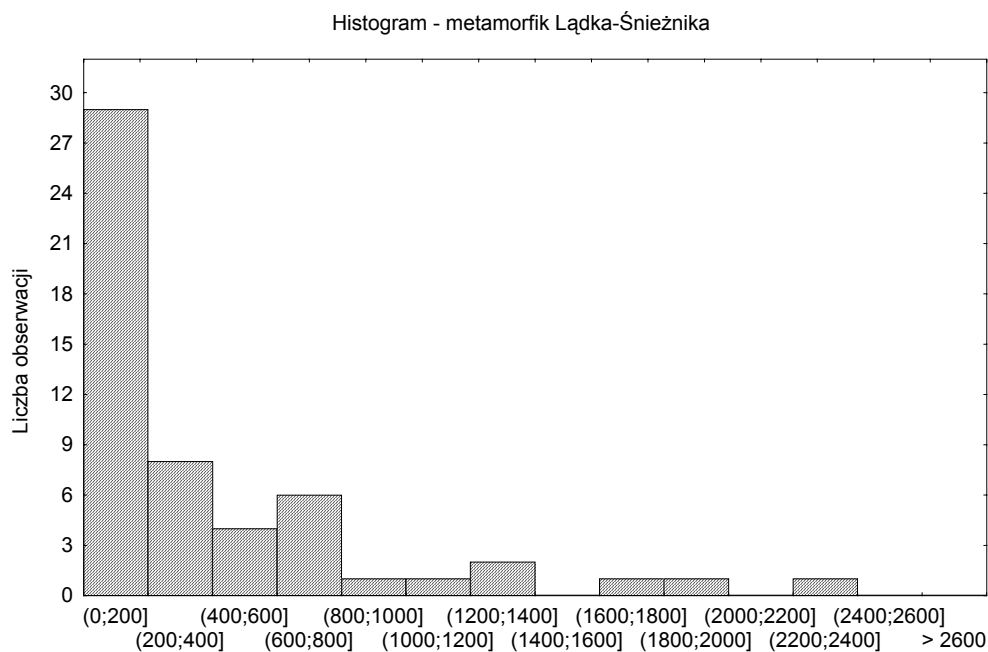
Na obszarze metamorfitu Łądk - Śnieżnika zanotowano najliczniejsze wystąpienia wód radonowych. Próby pobrano z 54 miejsc pomiarowych (źródła, studnie i odwierty). Uzyskane wartości stężeń radonu przedstawiono na rys. 1. Linia przerywaną oznaczono wartość 74 Bq/dm³. Punkty na wykresach odpowiadają wartościom średnich arytmetycznych stężeń radonu w kolejnych punktach pomiarowych.



Rys. 1. Stężenie radonu w wodach podziemnych metamorfitu Łądk - Śnieżnika
Fig. 1. Radon concentration in groundwaters of Łądek - Śnieżnik metamorphic unit

Wartości stężeń radonu w metamorfitu Łądk - Śnieżnika wahają się od 0,3 do 2380 Bq/dm³ (rys. 1.). Średnia zawartość radonu na tym obszarze wynosi 390 Bq/dm³. Rozkład wartości stężeń radonu w wodach podziemnych metamorfitu Łądk - Śnieżnika jest asymetryczny (rys. 2), zatem wartością która lepiej charakteryzuje dany rozkład jest mediana. Wynosi ona 131 Bq/dm³ (rys. 3.).

Zgodnie z zaproponowaną nową klasyfikacją wód podziemnych (tab. 2.) ze względu na zawartość rozpuszczonego w nich radonu (²²²Rn) (Przylibski, 2005) wody podziemne metamorfitu Łądk - Śnieżnika to głównie wody radonowe (28 punktów pomiarowych). Występują na tym obszarze również wody wysokoradonowe (6 punktów pomiarowych), niskoradonowe (13 punktów pomiarowych) oraz ubogie w radon (6 punktów pomiarowych). Woda o zawartości radonu poniżej 1 Bq/dm³ (woda bezradonowa) występuje tylko w jednym punkcie pomiarowym. Nie ma natomiast wód ekstremalnie radonowych.



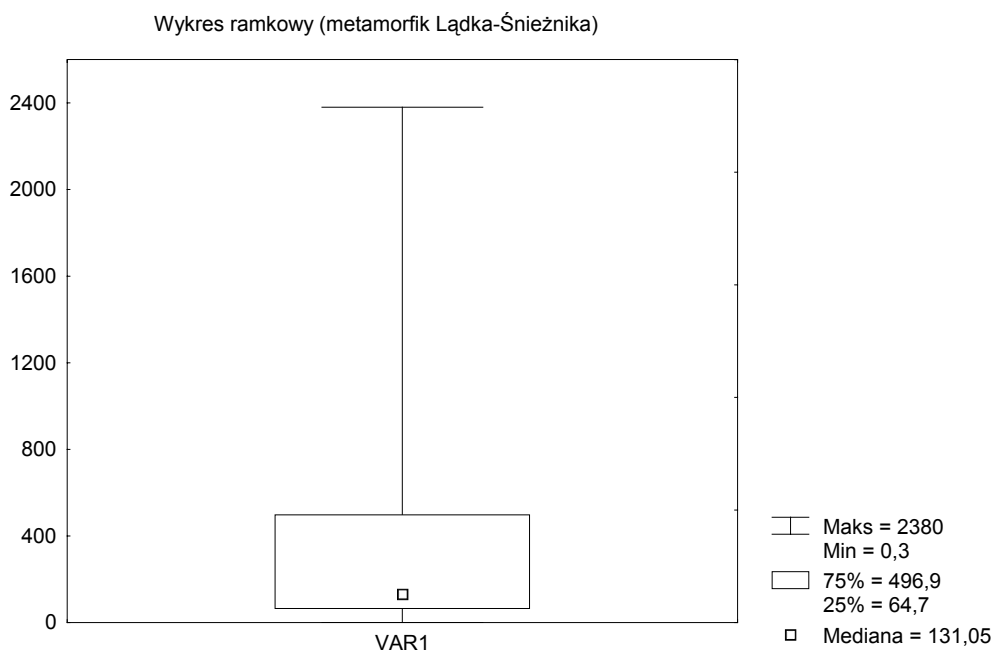
Rys. 2. Histogram stężeń radonu w wodach podziemnych metamorfiku Łądko - Śnieżnika
 Fig. 2. Histogram of radon concentration in groundwaters of Łądek - Śnieżnik metamorphic unit

Tabela 2

Klasyfikacja wód podziemnych ze względu na zawartość rozpuszczonego w nich radonu (Przylibski, 2005)

Nazwa wód podziemnych	Stężenie ^{222}Rn w 1dm^3 wody podziemnej
Wody bezradonowe	<1 Bq
Wody ubogie w radon	1-9,9(9)
Wody niskoradonowe	10-99,9(9)
Wody radonowe	100-999,9(9)
Wody wysokoradonowe	1000-9999,9(9)
Wody ekstremalnie radonowe	>10000

Mapa (rys. 4.) prezentuje wartości stężeń radonu na obszarze metamorfiku Łądko-Śnieżnika na tle budowy geologicznej. Wartości te mają charakter losowy (związany z lokalnie podwyższoną zawartością minerałów uranonośnych i toronośnych w skałach zbiornikowych). W niniejszym artykule służy ona jedynie do obrazowego przedstawienia obszarów, na których stwierdzono podwyższone stężenia radonu w stosunku do otoczenia. Najwyższe stężenia radonu w wodzie podziemnej zanotowano w punktach pomiarowych znajdujących się w obrębie kompleksu granitognejsów śnieżnickich w rejonie Łądko Zdroju i Masywu Śnieżnika oraz w rejonie Białej Góry w okolicy Żłotej Stoku.



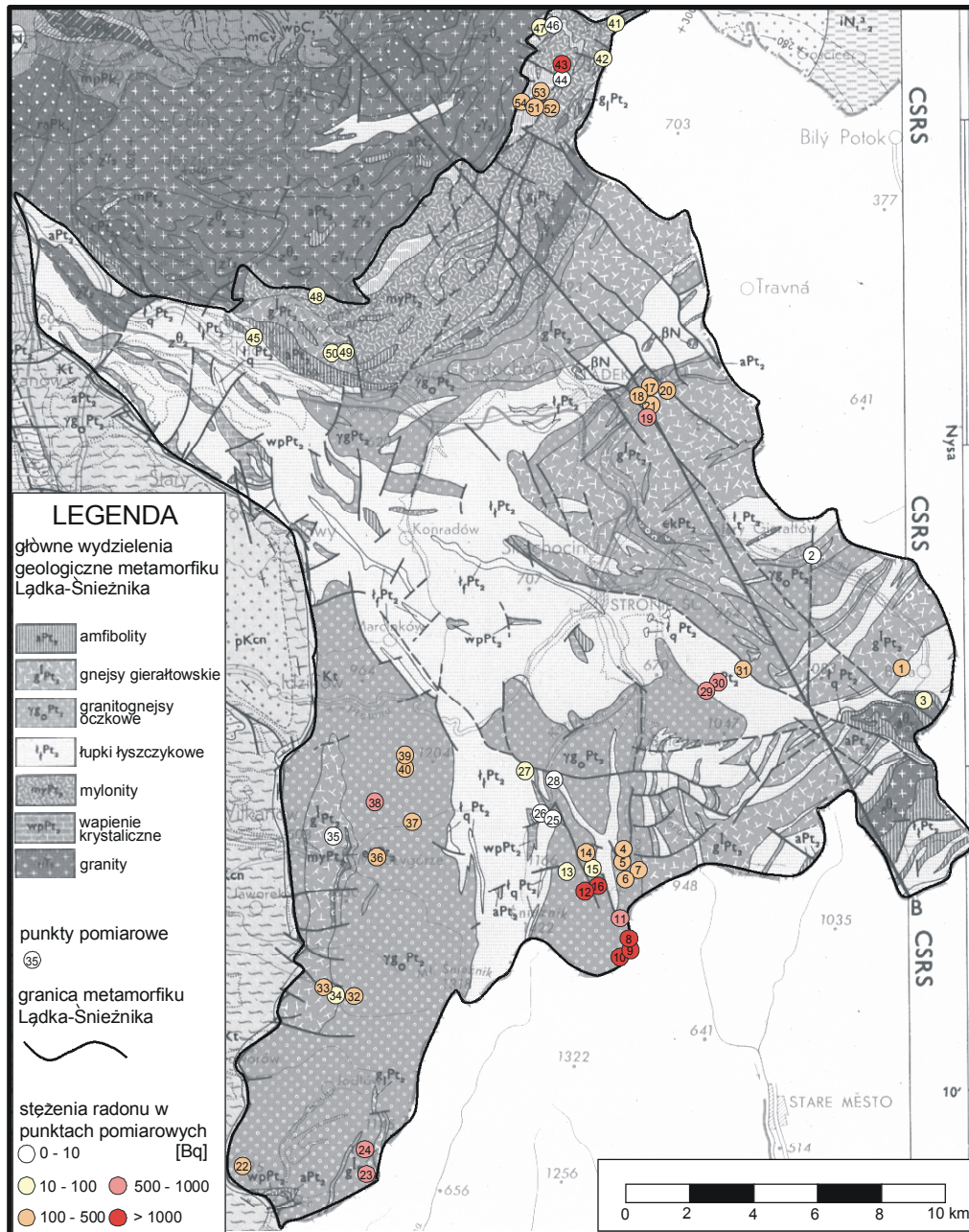
Rys. 3. Wykres skrzynkowy stężeń radonu w wodach podziemnych metamorfiku Łądko - Śnieżnika
 Fig. 3. Box graph of radon concentration in groundwaters of Łądek - Śnieżnik metamorphic complex

Dla punktów pomiarowych na terenie metamorfiku Łądko-Śnieżnika obliczono współczynnik korelacji R pomiędzy wartością stężenia radonu a mineralizacją ogólną (ang. *Total Dissolved Solids*, TDS), temperaturą wody na wypływie (T) oraz pH wody (tab. 3). Zauważono również ujemną korelację pomiędzy wartościami stężeń radonu a mineralizacją ogólną. Współczynnik korelacji R wynosi $-0,3479$ dla 56 par korelowanych pomiarów.

Tabela 3

Wartości współczynników korelacji R pomiędzy stężeniem ^{222}Rn a TDS, T i pH

	TDS	T	pH
Liczba prób	56	53	24
Współczynnik korelacji R	-0,3479	0,0311	-0,3830



Rys. 3. Lokalizacja punktów pomiarowych na obszarze metamorfiku Łądko-Śnieżnika
 Fig. 3. Location of samples points in Lądek - Śnieżnik metamorphic unit

5. PODSUMOWANIE

Zmiany stężeń radonu w wodach podziemnych zależą od różnych procesów. Do tych procesów należą zmiany parametrów atmosferycznych, gruntowych, skał zbiornikowych oraz proces mieszania się różnych składowych wód podziemnych.

Zależności pomiędzy wzrostem stężeń radonu, a spadkiem mineralizacji wody są efektem mieszania się wód słabozmineralizowanych płytkiego krążenia, zwykle wzbogaconych w radon, z wodami zmineralizowanymi głębokiego krążenia. Zjawisko to jest obserwowane w wodach podziemnych na obszarze metamorfiku Łądka - Śnieżnika.

Stwierdzono, że rozkład wartości stężeń radonu w wodach podziemnych metamorfiku Łądka- Śnieżnika nie ma charakteru normalnego, a jest zbliżony do rozkładu lognormalnego.

Najwyższe stężenia radonu na omawianym obszarze zanotowano w obrębie kompleksu granitognejsów śnieżnickich w rejonie Łądka Zdroju i Masywu Śnieżnika oraz w rejonie Białej Góry w okolicy Żłotej Stoku.

Praca finansowana przez KBN jako projekt badawczy 4T12B06926

LITERATURA

- ADAMCZYK-LORENC A., 2005, *Występowanie radonu w wodach podziemnych Ziemi Kłodzkiej*, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, Nr 110, ss. 91-100, Konferencje Nr 42, „Zagadnienia interdyscyplinarne w górnictwie i geologii” V Konferencja Doktorantów, Szklarska Poręba, 30 marca – 01 kwietnia 2005, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- Analizy fizyko – chemiczne wykonane przez Laboratorium B. P. i U. T. B. U. „Balneoprojekt” w Szczawnie Zdroju – Archiwum Uzdrawiskowego Zakładu Górniczego: U. Z. G. Łądek – Długopole.
- CIEŹKOWSKI W., 1990, *Studium hydrogeochemii wód leczniczych Sudetów polskich*, Pr. Nauk. Inst. Geotech. PWr, nr 60, ser. Monografie nr 19, Wrocław.
- DOWGIAŁŁO J., 2002, *Ocena zasobów dyspozycyjnych wód leczniczych i potencjalnie leczniczych*, Praca zbiorowa pod red. B. Paczyńskiego, Wyd.: PIG, Warszawa.
- EISENBUD M., GESSEL T. – 1997, *Environmental Radioactivity*, Academic Press, San Diego.
- EMERLE-TUBIELEWICZ H., 1981 – *Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów. Skala 1:25000, Arkusz Kłodzko, wraz z Objasneniami*, Wyd. Geol., Warszawa.
- MILISZKIEWICZ A., 1978 - *Radon*, PWN, Warszawa – Wrocław.
- OBERC J., 1972 – *Tektonika* [w]: Budowa geologiczna Polski, t. IV, Tektonika, Wyd. Geol., Warszawa.
- POLAŃSKI A., 1988, *Podstawy geochemii*. Wyd. Geol., Warszawa
- PRZYLIBSKI T. A., 1997, *Wybrane uwarunkowania występowania radonu-222 w Sudetach*. Praca doktorska. Instytut Geotechniki i Hydrotechniki Politechniki Wrocławskiej, Wrocław
- PRZYLIBSKI T.A., 2004 – *Concentration of ²²⁶Ra in rocks of the southern part of Lower Silesia (SW Poland)*, Journal of Environmental Radioactivity 75, 171-191.
- PRZYLIBSKI T.A., 2005 – *Wody radonowe Sudetów: przyrodnicze, radiologiczne oraz balneologiczne i górnicze aspekty ich występowania*. Poster na IV Krajowej Konferencji Radiochemii i Chemii Jądrowej. Kraków – Przegorzały 9 - 11. 05. 2005.
- PRZYLIBSKI T. A., ADAMCZYK A., 2003 – *Nowe stanowisko do pomiarów stężeń radonu ²²²Rn w wodzie w Laboratorium Hydrogeologicznym na Wydziale Górniczym Politechniki Wrocławskiej*. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, Nr 103, ss. 329-343, Konferencje Nr 36,

„Zagadnienia interdyscyplinarne w górnictwie i geologii” III Konferencja Doktorantów, Szklarska Poręba, 24-26 stycznia 2003, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
SAWICKI L., 1966, *Mapa geologiczna Dolnego Śląska*, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
SOLECKI A. T., 1997 – *Radioaktywność środowiska geologicznego*, Wyd. Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław.
SMULIKOWSKI K., 1979, *Ewolucja polimetamorficzna krystaliniku Śnieżnika Kłodzkiego i Gór Złotych w Sudetach*, Geol. Sudetica, nr 14.

*radon, groundwater, metamorphic rocks,
Łądek – Śnieżnik massif*

RADON CONCENTRATION DISTRIBUTION IN GROUNDWATERS OF ŁĄDEK – ŚNIEŻNIK METAMORPHIC MASSIF

Paper presents radon concentration distribution in groundwaters of Łądek – Śnieżnik metamorphic unit. Radon concentration laboratory tests were made in Hydrogeological Laboratory in Institute of Mining of Wrocław University of Technology by means of ionization chamber Alpha GUARD made by Genitron Instruments GmbH.