

Z Zakładu Fizyki Doświadczalnej Wydz. Mat. Fiz. Chem. U.M.C.S. w Lublinie
Kierownik: prof. dr Stanisław Ziemecki

Emanuel TREMBACZOWSKI

Promieniotwórczość wód na Sławinku pod Lublinem

Радиоактивность вод Славинка под городом Люблином

Radioaktivität der Quellen in Sławinek bei Lublin

Związek między działaniem leczniczym źródeł a ich promieniotwórczością dał pobudkę do badania we wszystkich krajach wielkiej liczby źródeł mineralnych. Również w celach geologicznych badania promieniotwórczości wód mają nie małe znaczenie.

Zasada pomiaru przedstawia się następująco.

Jeśli powietrze zawierające jakąkolwiek z emanacyj zamkniemy w kondensatorze cylindrycznym, w którym między okładkami istnieje pole elektryczne, to wytworzone przez promienie jony zaczynają się poruszać, wytwarzając prąd elektryczny. Wartość tego prądu można przeliczyć na jednostki emanacji przy pomocy równoważnika S , tj. prądu wytwarzanego przez 1 curie danej emanacji. Jeśli istnieje prąd nasycenia, to wszystkie wytworzone w jednostce czasu jony są zużywane na podtrzymywanie tego prądu. W tym przypadku można w celu przeliczenia prądu na jednostki emanacji zastosować związek:

$$E_m = i/S \text{ curie, gdzie}$$

E_m — oznacza ilość emanacji,

i — prąd mierzony,

S — równoważnik prądu.

Jeżeli w ciągu sekundy przepływa do każdej okładki kondensatora ilość elektyczności $\pm q$ (j. es), to wskutek tego potencjał ich zmienia się w ciągu sekundy o $\pm V$ volt, przy czym q i V związane są równaniem:

$$q = C_1 \frac{V}{300},$$

gdzie C_1 jest pojemnością kondensatora.

W przypadku, gdy z jedną okładką połączony jest elektrometr (pojemność całości C), podczas gdy druga jest na stałym potencjale, zmianę potencjału na jednostkę czasu $\frac{dV}{dt}$ mierzoną w voltach wyraża równanie:

$$\frac{dq}{dt} = \frac{C}{300} \cdot \frac{dV}{dt} = i;$$

wzór powyższy daje natężenie prądu jonizacyjnego i — w jednostkach elektrostatycznych. Gdy więc przy czułości elektrometru e wolt/podz. obserwujemy w czasie t sekund spadek potencjału odpowiadający n podziałkom skali, równanie pierwotne przybiera postać:

$$E_m = C \cdot \frac{n \cdot e}{300} \cdot \frac{1}{t} \cdot \frac{1}{S} \text{ curie}$$

Należy przy tym założyć, że prąd w komorze wolnej od emanacji równy jest zeru. Przy pomiarach małych ilości emanacji trzeba przeprowadzić uprzednio kontrolujące pomiary tzw. „naturalnego spadku”. Jeżeli pomiar czasu spadku naturalnego dla n podziałek skali przy czułości e wyniesie t' sek., to po uwzględnieniu powyższego otrzymamy:

$$E_m = \frac{t' - t}{t' \cdot t} \cdot C \cdot \frac{n \cdot e}{300} \cdot \frac{1}{S} \text{ curie}$$

W powyższym równaniu należy jeszcze uwzględnić szereg poprawek wynikających z rozpadu emanacji w czasie i tworzenia się aktywnych osadów (poprawka czasowa), z częściowego niewykorzystania promieni α ze względu na skończone rozmiary komory (poprawka na komorę), oraz poprawkę na ilość emanacji znajdującą się poza komorą jonizacyjną, tj. w objętości przewodów doprowadzających emanację do komory. Po uwzględnieniu tego wzór powyższy przyjmie postać:

$$E_m = \frac{t' - t}{t' \cdot t} \cdot C \cdot \frac{n \cdot e}{300} \cdot \frac{1}{\varphi} \cdot a \cdot \frac{1}{S_T} \frac{\text{curie}}{\text{litr}},$$

gdzie $\frac{1}{\varphi}$ — poprawka na komorę znaleziona doświadczalnie przez Duane'a i Laborde'a, dla cylindrycznych komór jonizacyjnych o rozmiarach: $2h = r$ lub $2r = h$, wynosi dla czystego radonu:

$$1/\varphi = \frac{1}{1 - 0,517 \ 0/V} ,$$

zaś dla radonu w równowadze z Ra A, Ra B i Ra C:

$$1/\varphi = \frac{1}{1 - 0,572 \ 0/V} ,$$

gdzie 0 oznacza całkowitą wewnętrzną powierzchnię komory, zaś V — jej objętość.

Czynnik a według ogólnie przyjętych wzorów ⁶⁾ ma postać:

$$a = \frac{1000}{w} \cdot \frac{l_1 + l_2 + l_3}{l_3} \cdot (1 + \alpha \frac{w}{l_1}) ,$$

gdzie:

w — jest objętością badanej wody (w cm³),

l₁ — „ „ powietrza w butelce z wodą,

l₂ — „ „ przewodów doprowadzających gaz do komory,

l₃ — „ „ komory jonizacyjnej,

α — oznacza współczynnik absorpcji emanacji w wodzie.

S_T jest wartością równoważnika prądu po upływie T minut, tj. czasu upływającego od wprowadzenia emanacji do komory, do pomiaru prądu.

Jest wiele sposobów usuwania emanacji z badanej wody; do najczęściej stosowanych należą: metoda przepłukiwania powietrzem oraz doprowadzenia wody do wrzenia. J. Elster, H. Geitel i H. Mache opracowali tzw. metodę cyrkulacji, której zasada jest następująca. Za pomocą pompki przepędza się przez badaną wodę powietrze, które po osuszeniu wchodzi do komory, a następnie wraca do pompki.

Gdy chodzi o usunięcie emanacji z roztworu lub wody, wystarcza już 15 minutowe przepłukiwanie powietrzem. W tym też czasie wytworzy się równowaga między gazem a cieczą.

Pochłanianie emanacji przez pompkę gumową (dmuchawkę) oraz połączenia kauczukowe jest minimalne. Można się jednak zupełnie ustrzec pochłaniania jeżeli się opróżni jak najdokładniej komorę z powietrza; następnie powietrze przechodząc przez wodę i suszkę zostaje z powrotem wolno wessane do komory, unosi ono ze sobą zawartą w wodzie emanację.

Badania promieniotwórczości wód polskich zostały zapoczątkowane przez Zakrzewskiego (Szczawnica 1906—9). W latach 1920—25 pracownia radiologiczna Warszawskiego Towarzystwa Naukowego

i Państwowy Instytut Farmaceutyczny podjęły akcję planowego badania źródeł mineralnych Polski. Badań dokonał L. Wertenstein przy współudziale W. Bartnickiej i J. Biczuka. Zbadano wodę 49 źródeł następujących 14 zdrojowisk: Busk, Solec, Krzeszowice, Swoszowice, Rabka, Jastrzębie, Moszczenica, Goczalkowice, Jaszczurówka, Szczawnica, Krościeńko nad Dunajcem, Krynica, Żegiestów i Wysowa.

Aktywność badanych źródeł nie przewyższała kilku jednostek Machego.

Do najbardziej aktywnych należały źródła następujących zdrojowisk:

Jastrzębie	— 4,0 j. M.	Rabka	— 1,4 j. M.
Moszczenica	— 3,4 „	Jaszczurówka	— 0,9 „
Swoszowice	— 2,2 „	Krynica	— 0,5 „

Aktywność większości źródeł wyrażała się zaledwie ułamkiem tej jednostki.

Sławinek, który znajduje się tuż pod Lublinem, słynął już od dawna ze znajdujących się tam źródeł, którym przypisywano własności lecznicze. Pierwszym, który badał wodę Sławinka i podał do wiadomości ogółu jej własności w roku 1859, był lekarz lubelski Wilhelm Wilson. W roku 1860 otwarty został na Sławinku zakład kąpielowy. Zakład dziś już nie istnieje.

Znajdujące się tam źródła wypływają z pokładów szarego, wapienno-glaukonitowego marglu, należącego do formacji kredowej. Analiza chemiczna dokonana w 1881 r. przez A. Orłowskiego wykazała, że woda zawiera głównie węglany wapnia, magnezu, tlenek żelaza, bezwodnik kwasu krzemowego oraz małe ilości ciał organicznych. Codzienne pomiary temperatury dokonane przez Bronisławę Szalkiewicz, asystentkę Zakładu Geografii U. M. C. S. w okresie od wżeśnia 1946 roku do września 1947 roku wykazały, że temperatura wody wynosiła stale 8,4°C, przy wahaniami temperatury otoczenia od —20°C do +40°C. Fakt ten, oraz stosunkowo niska temperatura wody przemawia za wydobywaniem się wody z głębszych warstw ziemi. Woda drugiego i trzeciego źródła jest o podobnym składzie chemicznym. Czwarte źródło różni się wyraźnie od trzech poprzednich. Wprawdzie analizy wody nie robiono, lecz samo istnienie brunatno zabarwionych osadów, których obecności w poprzednich źródłach nie zdołano stwierdzić wskazuje na odmienny skład chemiczny

tej wody. Trzy pierwsze źródła oraz 6 studzien zaopatrują miejscową ludność w wodę.

Przyrząd za pomocą którego dokonałem pomiaru promieniotwórczości wód na Sławinku, został skonstruowany w warsztacie mechanicznym Zakładu Fizyki Doświadczalnej U. M. C. S., przez kierownika warsztatu Ob. T. Lewandowskiego. Składa się on w zasadzie z elektrometru listkowego oraz cylindrycznej komory jonizacyjnej. Listek elektrometru zrobiony jest z folii złotej, naklejonej na sztabkę mosiężną, osadzoną w izolacji bursztynowej. Koniec sztabki zaopatrzony jest w gwint w celu wkręcania elektrody (pręta jonizacyjnego) i przechodzi przez bursztyn do komory. Bursztyn, którego średnica wynosi około 2,5 cm osadzony jest jeszcze w pierścieniu ebonitowym w celu polepszenia izolacji listka. Powietrze w elektrometrze osuszane jest kawałkiem sodu metalicznego. Ruch listka, do którego końca przyklejona jest w celu dokładniejszego odczytu nitka kwarcowa grubości kilku mikronów a długości kilku milimetrów, obserwowany jest za pomocą mikroskopu z okularem mikrometrycznym. Elektrometr nakręcany jest na komorę jonizacyjną, zrobioną z 2 mm blachy mosiężnej. Objętość komory przy rozmiarach: $h = 2r = 18$ cm, wynosi około 4,6 l.

W celu dokonania większej ilości pomiarów w ciągu jednego dnia, została sporządzona druga komora o wymiarach nie wiele odbiegających od wymiarów komory pierwszej. Pojemność elektrostatyczna wynosi dla elektrometru z komorą pierwszą: 6,72 cm, z komorą drugą — 6,43 cm. Z metod na wprowadzenie gazu do komory, stosowałem metodę cyrkulacji i wypompowywania komory. Pomiaru prądu jonizacyjnego dokonywałem początkowo zaraz po wpuszczeniu emanacji do komory. Wyniki pomiarów nie były jednak zadawalające, gdyż różniły się między sobą do 10%. Tłumaczę to tym, że w początkowych chwilach wskutek tworzenia się aktywnych osadów, prąd jonizacyjny szybko wzrastał, poza tym ulegał szybkiej zmianie równoważnik S_T który w pierwszych chwilach zmienia się około 1% na minutę. Wobec tego zdecydowałem się na dokonywanie pomiaru prądu po ustaleniu się równowagi promieniotwórczej między radonem a RaA, RaB i RaC, co ma miejsce po upływie $3\frac{1}{2}$ godziny od chwili wpuszczenia radonu do komory. Tym samym zrezygnowałem z pomiaru krótkożyjących emanacji toru i aktynu. Mierzony prąd wykazywał w tym czasie stałą wartość. Określenie właściwej wartości równoważnika prądu nie narażało teraz na trudności, gdyż w czasie od 200 do 250 minuty od chwili wpuszczenia radonu do komory, wartość ta zmienia się od

6,007 · 10⁶ j. es. do 6,013 · 16⁶ j. es., czyli praktycznie można ją uważać za stałą. Zgodność między poszczególnymi pomiarami była teraz lepsza.

Różnica między wynikami nie przekraczała 3%, co mieściło się w zakresie możliwego maksymalnego błędu pomiaru, wynoszącego kilka procent.

Dla przykładu podaję poniżej obliczenia pomiaru promieniotwórczości jednego ze źródeł.

Pomiar promieniotwórczości źródła nr 1 z dnia 13.X.1951 roku.
Temp. wody: 15,0°C.

$$\alpha = 0,30 ;$$

$$w = 435 \text{ cm}^3 ;$$

$$l_1 = 111 \text{ cm}^3 ;$$

$$l_2 = 95 \text{ cm}^3 ;$$

$$l_3 = 4590 \text{ cm}^3 ;$$

$$1/\varphi = 1,237 ;$$

$$C = 6,72 \text{ cm} ;$$

$$e = 1,31 \frac{\text{wolt}}{\text{podz.}}$$

$$a = \frac{1000}{435} \cdot \frac{111 + 95 + 4590}{4590} \cdot \left(1 + \frac{435}{111} \cdot 0,30\right) = 5,22 ;$$

Czas pobrania wody: 11⁵⁰.

Czas wpuszczania radonu do komory: 15⁰⁰ do 15⁵⁵;

Początek pomiaru prądu: 19²⁰;

Czas, który upłynął od wpuszczenia radonu do komory, do początku pomiaru prądu: 205 min.;

Wartość równoważnika S_T po upływie powyższego czasu: 6,01 · 10⁶ j. es.;

Czas od pobrania wody do usunięcia z niej radonu 4 godz.;

Ilość radonu, która w tym czasie uległa rozpadowi: 3%;

Własne opadanie listka			Próba z wodą		
Skala okularu	t czas w minutach	spadek na 5 minut	Skala okularu	t czas w minutach	spadek na 5 minut
73,8	0		75,0	0	
73,3	5	0,5	69,6	5	5,4
72,7	10	0,6	64,3	10	5,3
72,2	15	0,5	59,0	15	5,3
71,7	20	0,5	53,7	20	5,3
71,2	25	0,5	48,3	25	5,4
70,6	30	0,6	43,0	30	5,3
—	—	—	37,7	35	5,3
67,4	60	0,5	32,4	40	5,3

$$n = 32,0 \text{ podz.};$$

$$t' = 1800 \text{ sek.};$$

$$t = 18000 \text{ sek.};$$

$$E_m = \frac{18000 - 1800}{18000 \cdot 1800} \cdot 6,72 \cdot \frac{32,0 \cdot 1,31}{300} \cdot 1,237 \cdot 5,22 \cdot$$

$$\cdot \frac{1}{6,01 \cdot 10^6} = 5,05 \cdot 10^{-10} \frac{\text{curie}}{\text{litr}};$$

Po uwzględnieniu poprawki czasowej:

$$E_m = 5,20 \cdot 10^{-10} \frac{\text{curie}}{\text{litr}} = 1,43 \text{ j. M.}$$

Wyniki dokonanych pomiarów promieniotwórczości wód na Sławinku zestawione są w poniższej tabelce:

Data pomiaru	Metoda wprowadzenia radonu do komory	Badany obiekt	10^{-10} curie litr	J. M.
12.X.51	cyrkulacja	źródło nr 1	5,26	1,45
13.X.51	cyrkulacja		5,25	1,44
13.X.51	wypompowanie		5,20	1,43
25.X.51	wypompowanie		5,12	1,41
15 X.51	cyrkulacja	źródło nr 2	4,93	1,35
15.X.51	cyrkulacja		4,96	1,36
16 X.51	wypompowanie		4,91	1,35
16.X.51	wypompowanie		4,87	1,34
18.X.51	wypompowanie	źródło nr 3	5,20	1,43
18.X.51	wypompowanie		5,18	1,42
19 X.51	cyrkulacja		5,14	1,41
20 X.51	cyrkulacja		5,16	1,42
21.X.51	cyrkulacja	źródło nr 4	4,01	1,10
21.X.51	cyrkulacja		4,00	1,10
22.X.51	wypompowanie		4,11	1,13
22.X.51	wypompowanie		4,07	1,12
23.X.51	wypompowanie	studnia gosp. T. Wiśniewskiego	5,17	1,42
24 X.51	cyrkulacja		5,94	1,63
24 X.51	cyrkulacja		6,15	1,69
25.X.51	wypompowanie		5,82	1,60

Jak wynika z tabelki, największą aktywnością spośród źródeł wyróżniają się źródła nr 1 i 3. Znajdują się one w niewielkiej od siebie odległości a woda ich wydaje się identyczna. Woda źródła nr 2, znajdującego się w bezpośrednim sąsiedztwie źródeł 1 i 3, jest prawdopodobnie tego samego pochodzenia. Aktywność jej jest jednak wyraźnie mniejsza. W przeciwieństwie do dwóch poprzednich, źródło to jest mało wydajne. Woda wytryska słabo, tak że niemożliwym było dokładne ustalenie miejsca z którego wypływa. Przyczyną małej wydajności jest prawdopodobnie duże zamulenie źródła. Przypuszczam, że słaba wydajność tego źródła, a głównie jego zamulenie mogą być przyczyną zmniejszonej aktywności¹⁾. Omówione wyżej trzy źródła są omurowane i miejscowa ludność czerpie z nich wodę.

Inną natomiast wodę posiada źródło nr 4, które wytrysło z leja powstałego po wybuchu bomby w czasie ostatnich działań wojennych. Woda jego, ze względu na tworzący się w niej brunatny osad (związki żelaza) nie jest przez miejscową ludność używana. Aktywność jej jest znacznie słabsza od aktywności poprzednich źródeł. Zgodność poszczególnych pomiarów danych źródeł jest dobra. Wyraźnie większą aktywność wykazuje woda ze studni, której właścicielem jest gospodarz Tadeusz Wiśniewski. Studnia ta, głębokości 10 m znajduje się w pobliżu źródła nr 3 i wydaje się prawdopodobnym, że woda jej jest tego samego pochodzenia co i woda źródłana. Fakt, że jest wyraźnie bardziej promieniotwórcza jest o tyle ciekawy, że na ogół woda studzienna jest mniej aktywna od wód źródłanych. Rzucającą się w oczy rozbieżność wyników tłumaczę tym, że wodę tę czerpałem wiadrem tak, że część radonu mogła się ulotnić. Również mącenie jej przez częste pobieranie mogło wpływać ujemnie na aktywność.

Przyczyny promieniotwórczości wód na Sławinku jak również określenie ilości znajdującego się w nich radu staną się prawdopodobnie przedmiotem dalszej pracy.

Panu Profesorowi dr. S. Ziemeckiemu za okazaną mi pomoc w niniejszej pracy składam gorące podziękowanie. Wyrażam również wdzięczność panu T. Lewandowskiemu, kierownikowi warsztatu mechanicznego, za precyzyjne wykonanie emanometru oraz kondensatora do badania pojemności.

¹⁾ (absorbowanie radonu przez mul).

L I T E R A T U R A

1. Hans IsraëI — Radioaktivität. Leipzig, 1940.
2. St. Meyer i E. v. Schweidler — Radioaktivität. Leipzig und Berlin, 1927.
3. Julius v. Weszelszky — Die Messung der Radioaktivität. Ph. Z. rok 1912, str. 240.
4. Ottomar Nürnbergger — Die Bestimmung der Radioaktivität von Quellwässern. Ph. Z. rok 1920, str. 198.
5. H. Greinacher — Zur Messung der Radiumemanation in Quellwässern. Ph. Z. rok 1920, str. 270.
6. L. Wertenstein, W. Bartnicka i J. Biczuk — Badania nad radioczynnością źródeł mineralnych południowej Polski. Medycyna Doświadczalna, rok 1926, zeszyt 5/6, str. 399.

P E Z J U M E

Радиоактивность Славинковых вод, которая были известны лечебными свойствами местным жителям издавна, я исследовал при помощи эманометра, главную часть которого составлял электрометр с золотым писточком и ионизационная камера. Чувствительность электрометра была: 1,34 вольта на одно деление шкалы окуляра; электростатическая емкость двух камер: 6,45 и 6,75 см. Удаление радона из воды и проведение его в камеру, я производил по методу циркуляции; иногда я применял тоже выкачивание воздуха из камеры. Каждый источник я исследовал по крайней мере четыре раза применяя оба метода и употребляя две камеры бывшие в моем распоряжении. Отдельные результаты измерений не отличались от себя больше чем на 3%, что заключалось в пределах возможных ошибок наблюдений. Сравнительно большие расхождения результатов получил я, исследуя колодезную воду, что объясняю неблагоприятными условиями черпаня воды ведром. Активность источников равнялась 1,12 до 1,43 единиц Махе; в колодце — 1,63 единиц Махе. Таким образом она была того же порядка, что и активность источников известных в Польше курортов. Например активность источников Рабки соответствует 1,4 единиц Махе Крюницы 0.5 тех же единиц.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Radioaktivität der Quellen in Slawinek, das schon seit 1850 bei der örtlichen Bevölkerung seiner heilkräftigen Wirkung wegen bekannt war, wurde mit einem Emanometer, das im wesentlichen aus einem Blattgoldelektrometer und einer Ionisationskammer bestand, untersucht.

Die Empfindlichkeit des Elektrometers betrug 1,34 Volt pro Teilstrich der Skala im Okular, die Kapazität je nach der benutzten Ionisationskammer: 6,43 und 6,72 cm.

Um das Radon aus dem Wasser auszutreiben und in die Kammer überzuführen, benutzte ich die Zirkulationsmethode und das sog. Auspumpverfahren. Jede Probe wurde 4-mal untersucht, unter Anwendung verschiedener Methoden und bei verschiedenen Ionisationskammern. Die Ergebnisse unterschieden sich um nicht mehr als 3%, was im Bereich des möglichen Beobachtungsfehlers lag. Grössere Abweichungen erhielt ich bei Untersuchung von Brunnenwasser, was ich durch die veränderlichen Bedingungen, unter denen das Wasser geschöpft wurde, erklären möchte.

Die Aktivität der Quellen beträgt 1,12 bis 1,43 Mache-Einheiten, die des Brunnens 1,63 Mache-Einheiten. Es ist dies dieselbe Grössenordnung, die wir bei den bekannten polnischen Kurorten finden. So beträgt die Aktivität der Quellen in Rabka 1,4, die in Krynica 0,5 Mache-Einheiten.