

PROMIENIOTWÓRCZOŚĆ NATURALNA POTASU ^{40}K W WODACH LECZNICZYCH I NATURALNYCH WODACH MINERALNYCH ORAZ OCENA DAWEK

NATURAL RADIOACTIVITY OF POTASSIUM ^{40}K IN CURATIVE AND NATURAL MINERAL WATERS AND DOSE ESTIMATION

Krzysztof A. Pachocki¹, Kamil Wieprzowski¹, Zdzisław Różycki¹, Marcin Bekas¹
Teresa Latour²

¹Zakład Ochrony Radiologicznej i Radiobiologii
Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego - Państwowy Zakład Higieny, Warszawa

²Zakład Tworzyw Uzdrawiskowych
Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego - Państwowy Zakład Higieny, Poznań

Słowa kluczowe: potas, promieniowanie jonizujące, wody lecznicze, naturalne wody mineralne, dawka
Key words: potassium, ionizing radiation, curative waters, natural mineral waters, dose

STRESZCZENIE

Wody lecznicze i naturalne wody mineralne często charakteryzują się podwyższoną mineralizacją. Ze wzrostem mineralizacji rosną także stężenia naturalnych izotopów promieniotwórczych stanowiących jedno ze źródeł narażenia ludności na promieniowanie jonizujące. Głównymi celami pracy było: (1) określenie stężenia izotopu potasu ^{40}K w próbkach wody, (2) obliczenie obciążających dawek skutecznych (efektywnych) spowodowanych spożyciem wód zawierających potas ^{40}K , (3) zbadanie korelacji pomiędzy stężeniem potasu ^{40}K a zawartością rozpuszczonych substancji stałych (TDS). Stężenia radioizotopu potasu ^{40}K w badanych próbkach oznaczono metodą spektrometrii gamma. Otrzymane stężenia miały wartości z przedziału od 0,65 do 28,42 Bq/dm³. Pomierzone wartości porównano z wartościami obliczonymi na podstawie analiz składu fizykochemicznego wody, które wyniosły od 0,07 do 22,87 Bq/dm³. Obliczona dawka skuteczna (efektywna) wynikająca ze spożycia wody zawierającej radionuklid potasu ^{40}K o stężeniu 2,26 Bq/dm³ była równa 294 nSv/kurację, zaś dawka spowodowana wchłonięciem drogą inhalacyjną wody zawierającej ^{40}K o stężeniu 1,45 Bq/dm³ osiągnęła wartość 9 nSv by kurację.

ABSTRACT

Natural mineral and curative waters often characterize elevated level of mineral components. If the mineralization grows, the concentration natural radionuclides, which are one population's exposure sources on ionizing radiation, also grows. The main purposes work were: (1) determine the concentration isotope potassium ^{40}K in samples of water, (2) calculate effective doses caused by intake of water with potassium ^{40}K , (3)- explore correlation between potassium ^{40}K concentration and total dissolved solids (TDS). The concentration radioisotope ^{40}K in analysed samples determined by means of gamma spectrometry. Received concentrations have values from the interval 0.65 to 28.42 Bq/dm³. Measured values compared to values calculated from physico-chemical analyses composition of water, which amounted from 0.07 to 22.87 Bq/dm³. The calculated effective dose resulting from intake water with potassium ^{40}K , concentration 2.26 Bq/dm³ equaled 294 nSv by treatment and caused by inhalation water with concentration ^{40}K 1.45 Bq/dm³ reached value 9 nSv by treatment.

WSTĘP

Oddziaływanie wód leczniczych na organizm związane jest z ich składem chemicznym i właściwościami fizyko-chemicznymi. W przypadku stosowania tych

wód do krenoterapii (kuracji pitnych) jest to oddziaływanie ogólne i miejscowe [3].

Działanie miejscowe polega na fizycznym i chemicznym oddziaływaniu składników wody na błonę śluzową przewodu pokarmowego (wpływ na zmianę

Adres do korespondencji: Krzysztof A. Pachocki, Zakład Ochrony Radiologicznej i Radiobiologii, Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego - Państwowy Zakład Higieny, 00-791 Warszawa, ul. Chocimska 24, tel. 22 54 21 224, fax 22 54 21 309, e-mail: kpachocki@pzh.gov.pl

czynności wydzielniczej gruczołów błon śluzowych oraz na zmianę czynności ruchowej ścian przewodu pokarmowego).

Działanie ogólne można podzielić na:

- a) farmakologiczne,
- b) chemiczne spowodowane działaniem składników wody,
- c) adaptogenne.

Niektóre wody lecznicze (w formie opakowanej) udostępniane są do kontynuowania kuracji w warunkach domowych. Systematyczne picie wód zgodnie ze wskazaniami lekarskimi powoduje przyswajanie przez organizm rozpuszczonych w tych wodach składników mineralnych, w tym również potasu.

Potas jest silnie alkalicznym pierwiastkiem, należącym do 17-tu najbardziej rozpowszechnionych pierwiastków na ziemi. Jego zawartość w skorupie ziemskiej wynosi 2,41% [6], natomiast w wodzie morskiej 1,11% [15]. Potas jest naturalnym i jednym z głównych pierwiastków budulcowych roślin i zwierząt. Ludzie wchłaniają potas głównie drogą pokarmową. Stężenia potasu w wodzie pitnej w Polsce są niskie [7, 8, 10], jednak w wodach o wysokiej mineralizacji osiągają stosunkowo wysokie wartości.

Naturalny potas posiada trzy izotopy: dwa stabilne (^{39}K i ^{41}K) oraz jeden niestabilny izotop promieniotwórczy ^{40}K . Izotop potasu ^{40}K ulega rozpadowi promieniotwórczemu na ^{40}Ca emitując promieniowanie β o energii $E_{\text{max}} = 1,33 \text{ MeV}$ (88 % promieniowania) oraz na promieniotwórczy gaz argon ^{40}Ar (12% promieniowania) w wyniku wychwytu elektronu i towarzyszącej mu emisji promieniowania gamma o energii $E = 1,46 \text{ MeV}$. Abundancja promieniotwórczego izotopu potasu ^{40}K w potasie naturalnym wynosi ok. 0,012% [2, 5, 15].

Większość potasu spożytego drogą pokarmową absorbowana jest w tkance mięśniowej [1], dlatego dawka promieniowania jonizującego otrzymywana przez człowieka w wyniku tego narażenia w największej części przypada na tkankę mięśniową.

Głównymi celami pracy było:

- określenie stężenia izotopu potasu ^{40}K w próbkach wody,
- obliczenie obciążających dawek skutecznych (efektywnych) spowodowanych spożyciem wód zawierających potas ^{40}K ,
- zbadanie korelacji pomiędzy stężeniem potasu ^{40}K a zawartością rozpuszczonych substancji stałych (TDS).

MATERIAŁ I METODY

Potas jest pierwiastkiem silnie alkalicznym i dlatego strącanie tego pierwiastka z wody jest mocno ograniczo-

ne. Z tego względu radiochemiczne oznaczenie stężenia radionuklidu potasu ^{40}K zwykle nie jest stosowane [2].

Do oznaczania stężenia izotopu potasu ^{40}K zastosowano metodę spektrometrii gamma z użyciem wielokanałowego analizatora pracującego pod kontrolą systemu GENIE 2000. Próbkę pobierane były w latach 2007 – 2010. Początkowe objętości próbek zawierały się w przedziale 0,44 – 3,00 dm³. Po preparatyce chemicznej próbki o objętości końcowej 0,45 dm³ umieszczano w pojemnikach o geometrii *Marinelli*. Pojemniki umieszczano w domku ołowianym na detektorze germanowym HPGe. Kalibrację zestawu wykonywano za pomocą atestowanego wzorca o geometrii *Marinelli* zawierającego mieszaninę radionuklidów z zakresu energetycznego 59,5 – 1836 keV. Wydajność względna detektora germanowego HPGe wyniosła 24,7% dla linii 1332,5 keV ^{60}Co , zaś zdolność rozdzielcza < 2 keV. Oznaczano stężenie całkowitej aktywności izotopu potasu ^{40}K . Czas zliczania, w zależności od aktywności i mineralizacji próbek wody wynosił od 20 do 98 h. Tak długi czas pomiaru, ograniczający dostęp do analizatora oraz niska mineralizacja wielu próbek zdecydowały o przeprowadzeniu pomiarów tylko 11 próbek wód.

Pomierzone wartości porównano z wartościami obliczonymi na podstawie analiz składu fizykochemicznego wody. Przyjęto współczynnik konwersji wynoszący 30,7 Bq całkowitej aktywności izotopu potasu ^{40}K na 1 g naturalnego potasu K [16].

WYNIKI I DYSKUSJA

Otrzymane wyniki przedstawiono w tabelach 1 - 4 oraz na rycinie 1. Pogrupowano je na cztery wybrane umownie rejony: karpacki, centralny, śląski oraz pomorski.

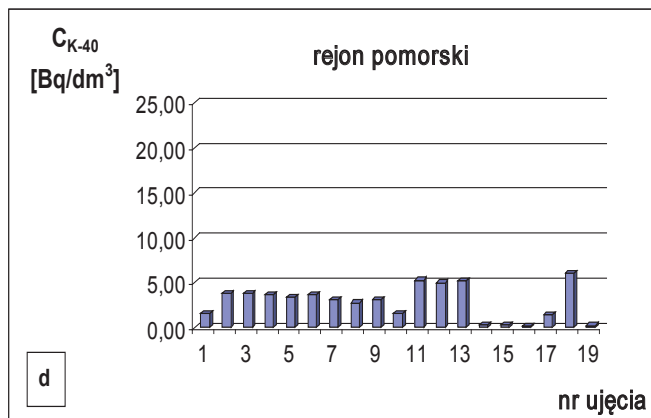
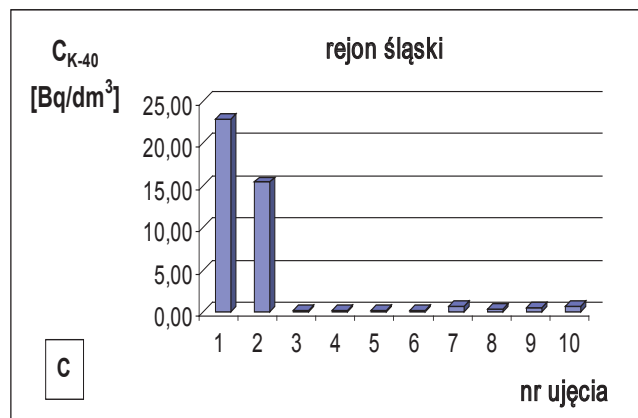
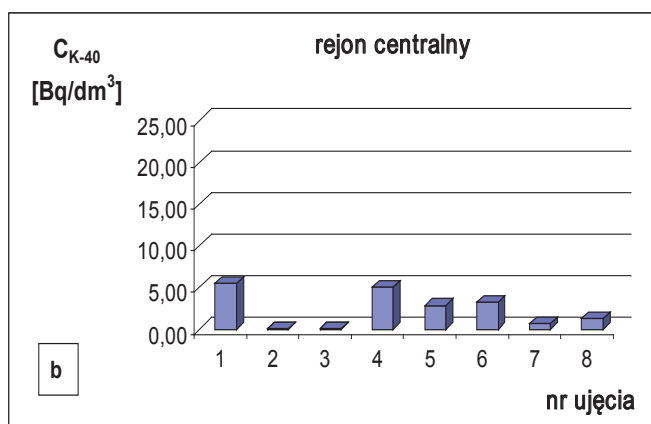
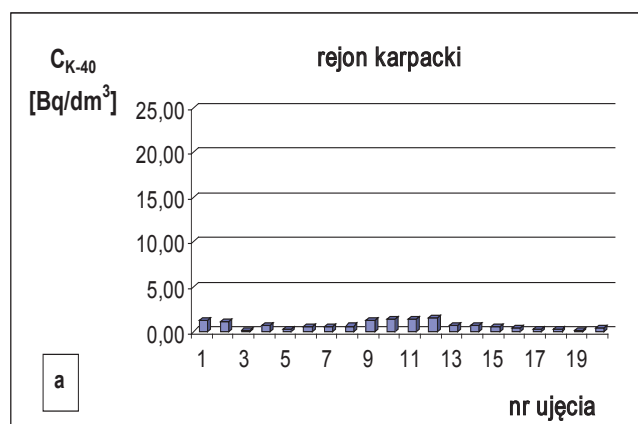
Przeprowadzono pomiary stężenia izotopu potasu ^{40}K w próbkach pochodzących z 11 ujęć metodą spektrometrii gamma. Zakres stężeń badanego radionuklidu wyniósł od 0,65 do 28,42 Bq/dm³, zaś średnia arytmetyczna 7,06 Bq/dm³. Należy jednocześnie podkreślić, że 0,65 Bq/dm³ to najniższa, osiągnięta wartość minimalnej wykrywalnej aktywności (w danych warunkach pomiarowych) w 11 przeprowadzonych pomiarach.

Pomierzone wartości porównano z obliczonymi wartościami otrzymanymi na podstawie analiz składu fizykochemicznego wody. Łącznie obliczono wartości dla 57 próbek wód. Stężenia izotopu potasu ^{40}K zawierały się w przedziale 0,07 – 22,87 Bq/dm³, średnia arytmetyczna wyniosła 2,26 Bq/dm³.

Najniższe średnie stężenie izotopu potasu ^{40}K , uzyskane metodą obliczeniową, wynoszące 0,71 Bq/dm³ odnotowano w próbkach pobranych z terenu rejonu karpackiego (Tab. 1). Zakres stężeń tego pierwiastka wyniósł 0,07 - 1,50 Bq/dm³.

Tabela 1. Stężenie izotopu potasu ^{40}K w próbkach wody z rejonu karpackiego
Isotope potassium ^{40}K concentration in samples of water from karpacki region

| Nr ujęcia | Województwo | Miejscowość poboru próbki wody | Nazwa ujęcia wody | Stężenie izotopu potasu ^{40}K | | Zawartość rozpuszczonych substancji stałych TDS [g/dm ³] | |
|----------------|--------------|--------------------------------|-------------------|-----------------------------------------|------------|----------------------------------------------------------------------|------|
| | | | | [Bq/dm ³] | | | |
| | | | | Obliczone | Pomierzone | | |
| 1 | podkarpackie | Lubatówka | Lubatówka 12 | 1,21 | - | 19,39 | |
| 2 | | | Lubatówka 14 | 1,05 | | 18,39 | |
| 3 | | Latoszyn | W-1 | 0,12 | | 2,56 | |
| 4 | | Iwonicz Zdrój | Klimkówka 27 | 0,70 | | 12,35 | |
| 5 | | | Karol 2 | 0,26 | | 1,59 | |
| 6 | | | Emma | 0,48 | | 5,30 | |
| 7 | | | Elin 7 | 0,59 | | 6,14 | |
| 8 | | | Iwonicz II | 0,61 | | 5,77 | |
| 9 | | | Zofia 6 | 1,22 | | 12,04 | |
| 10 | | | Rymanów Zdrój | źródło Tytus | | 1,43 | 7,93 |
| 11 | | | | źródło Klaudia | | 1,44 | 8,02 |
| 12 | | źródło Celestyna | | 1,50 | | 8,20 | |
| 13 | | odwiert RZ2 | | 0,68 | | 8,12 | |
| 14 | | odwiert RZ 4 | | 0,74 | | 6,30 | |
| 15 | | odwiert RZ 5 | | 0,59 | | 6,22 | |
| 16 | | Horyniec Zdrój | odwiert Róża III | 0,29 | | 0,72 | |
| 17 | | | odwiert Róża IV | 0,25 | | 0,59 | |
| 18 | | Polańczyk | IG-1 | 0,07 | | 2,01 | |
| 19 | | | IG-2 | 0,42 | | 8,51 | |
| 20 | | | | | | | |
| ŚREDNIA | | | | 0,71 | - | 7,16 | |



Ryc. 1 Stężenie izotopu potasu ^{40}K ($C_{\text{K-40}}$) w badanych próbkach wody
Isotope potassium ^{40}K concentration ($C_{\text{K-40}}$) in the analysed samples of water

Tabela 2. Stężenie izotopu potasu ^{40}K w próbkach wody z rejonu centralnego
Isotope potassium ^{40}K concentration in samples of water from centralny region

| Nr ujęcia | Województwo | Miejscowość poboru próbki wody | Nazwa ujęcia wody | Stężenie izotopu potasu ^{40}K | | Niepewność | Zawartość rozpuszczonych substancji stałych TDS [g/dm ³] |
|----------------|----------------|--------------------------------|-------------------|-----------------------------------------|-------------|-------------|----------------------------------------------------------------------|
| | | | | [Bq/dm ³] | | | |
| | | | | Obliczone | Pomierzone | | |
| 1 | mazowieckie | Konstancin Jeziorna | Warszawa IG-1 | 5,54 | - | | 74,91 |
| 2 | lubelskie | Nałęczów | Barbara | 0,10 | | | 0,66 |
| 3 | | | Celiński | 0,11 | | | 0,67 |
| 4 | | | Wełnin | Wełnin 2 (Malina) | | | 5,07 |
| 5 | świętokrzyskie | Busko Zdrój | C-1 | 2,84 | 2,40 | 0,38 | 12,37 |
| 6 | | Las Winiarski | LW-1 Zuzanna | 3,28 | 3,63 | 0,70 | 12,57 |
| 7 | łódzkie | Uniejów | PIG-AGH-2 | 0,64 | - | | 6,25 |
| 8 | wielkopolskie | Poznań | IGH-1 | 1,23 | 2,03 | 1,09 | 17,83 |
| ŚREDNIA | | | | 2,35 | 2,69 | 0,72 | 20,59 |

Tabela 3. Stężenie izotopu potasu ^{40}K w próbkach wody z rejonu śląskiego
Isotope potassium ^{40}K concentration in samples of water from śląski region

| Nr ujęcia | Województwo | Miejscowość poboru próbki wody | Nazwa ujęcia wody | Stężenie izotopu potasu ^{40}K | | Niepewność | Zawartość rozpuszczonych substancji stałych TDS [g/dm ³] |
|----------------|--------------|--------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------|--------------|-------------|----------------------------------------------------------------------|
| | | | | [Bq/dm ³] | | | |
| | | | | Obliczone | Pomierzone | | |
| 1 | śląskie | Ustroń | U-3 A | 22,87 | 28,42 | 4,36 | 129,61 |
| 2 | | | U-3 | 15,38 | 22,90 | 3,95 | 100,44 |
| 3 | dolnośląskie | Jelenia Góra - Cieplice | źródło Nr 1 „Marysieńka” | 0,16 | - | | 0,55 |
| 4 | | | źródło Nr 4 „Nowe” | 0,19 | | | 0,56 |
| 5 | | | odwiert C-2 | 0,16 | | | 0,53 |
| 6 | | Jedlina Zdrój | J-300 | 0,25 | | | 1,17 |
| 7 | | Szczawno Zdrój | Mieszko | 0,74 | | | 3,41 |
| 8 | | | Dąbrówka | 0,33 | | | 1,77 |
| 9 | | | Marta | 0,52 | | | 2,23 |
| 10 | | | Młynarz | 0,72 | | | 2,05 |
| ŚREDNIA | | | | 4,13 | 25,66 | 4,16 | 24,23 |

Tabela 4. Stężenie izotopu potasu ^{40}K w próbkach wody z rejonu pomorskiego
Isotope potassium ^{40}K concentration in samples of water from pomorski region

| Nr ujęcia | Województwo | Miejscowość poboru próbki wody | Nazwa ujęcia wody | Stężenie izotopu potasu ^{40}K | | Niepewność | Zawartość rozpuszczonych substancji stałych TDS [g/dm ³] | | | | |
|----------------|---------------------|--------------------------------|------------------------|-----------------------------------------|--------------|-------------|----------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|------|
| | | | | [Bq/dm ³] | | | | | | | |
| | | | | Obliczone | Pomierzone | | | | | | |
| 1 | zachodnio-pomorskie | Polczyn Zdrój | IG-1 | 1,54 | - | | 74,83 | | | | |
| 2 | | Kołobrzeg | Podczele 1 – Anastazja | 3,84 | | | 60,45 | | | | |
| 3 | | | B-2 – Bogusław | 3,84 | | | 59,57 | | | | |
| 4 | | | Nr 6 – Emilia | 3,68 | | | 53,79 | | | | |
| 5 | | | Nr 7 – Wacław | 3,38 | 56,16 | | | | | | |
| 6 | | | (B-1) Barnim | 3,68 | 4,73 | 0,73 | 58,39 | | | | |
| 7 | | Kamień Pomorski | Edward III | 1,58 | 3,10 | 0,38 | 34,03 | | | | |
| 8 | | Świnoujście | IV a – XXX-lecia | 3,07 | - | | 44,23 | | | | |
| 9 | | | V – Jantar | 2,76 | | | 44,62 | | | | |
| 10 | | | VI – Teresa | 3,07 | | | 44,34 | | | | |
| 11 | | kujawsko-pomorskie | Ciechocinek | Nr 11 (Grzybek) | 5,28 | - | | 46,79 | | | |
| 12 | | | | Nr 14 | 5,01 | | | 43,41 | | | |
| 13 | | | | Nr 16 | 5,22 | | | 53,24 | | | |
| 14 | | | | Nr 19 A | 0,36 | | | 3,19 | | | |
| 15 | | | Inowrocław | Szpital, ul. Poznańska 97 | studnia nr 3 | | | 0,31 | *0,65 | - | 2,80 |
| 16 | | | | studnia nr 2 | 0,23 | | | *0,66 | - | 1,65 | |
| 17 | | | | IL-1 | 1,43 | | | 2,09 | 0,36 | 12,53 | |
| 18 | | Grudziądz | Geotermia Marusza IG-1 | 6,04 | 7,11 | 0,93 | 76,11 | | | | |
| 19 | | Wieniec Zdrój | 3 E | 0,25 | - | | 3,63 | | | | |
| ŚREDNIA | | | | 2,87 | 3,06 | 0,60 | 40,72 | | | | |

* - przyjęto wartość równą MDA - minimalnej granicy wykrywalności w danych warunkach pomiarowych

Tabela 5. Stężenie izotopu potasu ^{40}K w różnego rodzaju wodach
Isotope potassium ^{40}K concentration in various sort of waters

| Badane próbki (lecznicze i naturalne wody mineralne) | | Polska | | | | | Woda morską |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------|--------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Pomierzone | Obliczone | Jeziora | Rzeki | Wody wodociągowe | | | |
| Stężenie izotopu potasu ^{40}K [Bq/dm^3]. zakres i/lub (średnia) | | | | | | | |
| 0,65 – 28,42 (7,06) | 0,07 – 22,87 (2,26) | 0,05-0,09 | 0,05 - 0,33 <i>Wisła, Odra i dorzecza</i> | (0,04) Ełk [8] | 0,06 – 0,11 (0,09) Kalisz [10] | 0,04 – 0,23 (0,10) Gdańsk [7] | (2,67) wody przybrzeżne południowy Bałtyk [4] |
| [niniejsza publikacja] | | [13] | | | | | (11,91) typowe wartości średnie [15] |

W próbkach pochodzących z rejonu centralnego (Tab. 2) po wykonaniu obliczeń stwierdzono nieco wyższe średnie stężenie tego radionuklidu. Wyniosło ono $2,35 \text{ Bq}/\text{dm}^3$, zaś wartości zawierały się w przedziale $0,10 - 5,54 \text{ Bq}/\text{dm}^3$. W 3 próbkach pobranych z tego rejonu dokonano również pomiaru stężenia izotopu potasu ^{40}K metodą spektrometrii gamma. Zmierzone wartości mieściły się w przedziale $2,03 - 3,63 \text{ Bq}/\text{dm}^3$, ze średnią arytmetyczną $2,69 \text{ Bq}/\text{dm}^3$.

Średnie stężenie izotopu potasu ^{40}K wynoszące $2,87 \text{ Bq}/\text{dm}^3$ (metoda obliczeniowa) stwierdzono w próbkach pochodzących z rejonu pomorskiego (Tab. 4). Zakres stężeń wyniósł: $0,23 - 6,04 \text{ Bq}/\text{dm}^3$. W 6 próbkach z tego rejonu pomierzono także stężenie tego radionuklidu metodą spektrometrii gamma. Uzyskane wyniki wyniosły $0,65 - 7,11 \text{ Bq}/\text{dm}^3$, średnia arytmetyczna $3,06 \text{ Bq}/\text{dm}^3$.

Najwyższe średnie (obliczone) stężenie izotopu potasu ^{40}K ($4,13 \text{ Bq}/\text{dm}^3$) stwierdzono w próbkach pochodzących z rejonu śląskiego (Tab. 3). Obliczone wartości zawierały się w przedziale $0,16 - 22,87 \text{ Bq}/\text{dm}^3$. Na wyższe średnie stężenie izotopu potasu ^{40}K w próbkach z tego rejonu wpływają 2 solanki z ujęć U-3 A oraz U-3 w Ustroniu o mineralizacji wynoszącej odpowiednio $129,6$ oraz $100,4 \text{ g}/\text{dm}^3$. Solanki te zawierały potas ^{40}K w ilości: $22,87$ (U-3A) oraz $15,38 \text{ Bq}/\text{dm}^3$ (U-3). Jeżeli w obliczeniach pominie się wartości stężeń tych 2 solanek, to średnie stężenie badanego radionuklidu w pozostałych, o niższej mineralizacji, 8 próbkach z tego rejonu wyniesie $0,38 \text{ Bq}/\text{dm}^3$.

W solankach z ujęć U-3 A i U-3 w Ustroniu oznaczono stężenia izotopu potasu ^{40}K również metodą spektrometrii gamma. Stężenia wyniosły odpowiednio: $28,42 \pm 4,36 \text{ Bq}/\text{dm}^3$ oraz $22,90 \pm 3,95 \text{ Bq}/\text{dm}^3$.

Solanki, wydobywane z ustronkich odwiertów U-3 oraz U-3A napełniają 4 baseny Zakładu Przyrodoleczniczego, gdzie są rozcieńczane do stężeń 3 – 4 %. Baseny są miejscami ćwiczeń kinezyterapeutycznych. Uważa

się, że kąpiele solankowe w basenach zmniejszają pobudliwość nerwów czuciowych i ruchowych, zwiększają ukrwienie skóry oraz normalizują ciśnienie krwi [11].

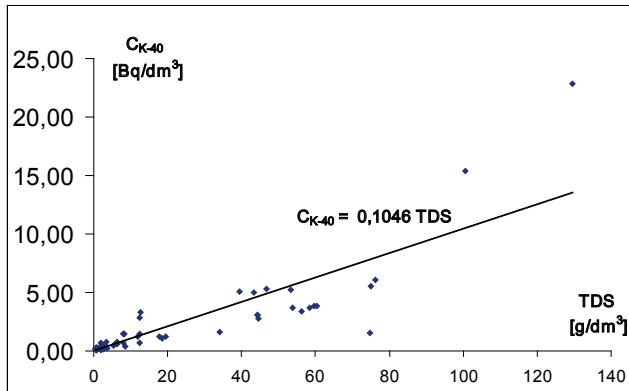
Na terenie Unii Europejskiej aktualnie nie obowiązują limity regulujące zawartość potasu promieniotwórczego w wodzie do picia. Otrzymane wyniki można jednak porównać do wartości stężeń potasu ^{40}K powszechnie występujących w wodach wodociągowych, jeziorach czy rzekach. Porównanie takie zostało przedstawione w tabeli 5.

Analizując stężenia izotopu potasu ^{40}K można zauważyć, że średnie stężenie w badanych próbkach wynoszące $2,26 \text{ Bq}/\text{dm}^3$ (obliczone na podstawie wyników analiz fizykochemicznych składu wody) jest nawet o rząd wielkości większe w porównaniu do wartości powszechnie występujących w wodach wodociągowych, jeziorach i rzekach [7, 8, 10 13]. Wody przybrzeżne południowego Bałtyku w 2009 r. zawierały porównywalną wartość $2,67 \text{ Bq}/\text{dm}^3$ [4], natomiast wartością typową w wodzie morskiej jest $11,91 \text{ Bq}/\text{dm}^3$ [15].

W oparciu o otrzymane wyniki stężenia izotopu potasu ^{40}K oszacowano dawkę skuteczną (efektywną) promieniowania jonizującego otrzymaną przez dorosłych pacjentów w trakcie kuracji pitnej wodą zawierającą izotop potasu ^{40}K w ilości $2,26 \text{ Bq}/\text{dm}^3$, co odpowiada średniej z przeprowadzonych obliczeń. Czas kuracji podawany w literaturze wynosi 20 – 24 dni [3,9, informacja mailowa Zakład Tworzyw Uzdrawiskowych NIZP-PZH w Poznaniu]. Dla celów niniejszej publikacji przyjęto 21 dniowy czas trwania kuracji pitnej, przy dziennym spożyciu wody w ilości 1 dm^3 . Do obliczeń użyto współczynnik konwersji wynoszący $6,2 \cdot 10^{-9} \text{ Sv}/\text{Bq}$ izotopu potasu ^{40}K spożytego drogą pokarmową [14]. Obliczona dawka skuteczną (efektywną) promieniowania jonizującego wyniosła $2,94 \cdot 10^{-7} \text{ Sv}$, (294 nSv) na kurację.

Oszacowano również dawkę skuteczną (efektywną) promieniowania jonizującego otrzymaną przez dorosłych pacjentów w trakcie zabiegów inhalacyjnych.

Do obliczeń przyjęto wyniki pomiarów próbki wody z ujęcia IL-1 w Inowrocławiu, charakteryzującej się stężeniem izotopu potasu ^{40}K $1,43 \text{ Bq/dm}^3$ oraz mineralizacją wynoszącą $12,5 \text{ g/dm}^3$. Woda ta jest wykorzystywana do zabiegów inhalacyjnych. Przez 21 dni pacjent poddawany jest jednemu zabiegowi dziennie (oprócz sobót i niedziel). Podczas jednego zabiegu wdycha ok. 200 ml rozpylonego roztworu danej wody [informacja mailowa Zakład Tworzyw Uzdrowiskowych NIZP-PZH w Poznaniu]. Przyjęto współczynnik konwersji wynoszący $2,1 \cdot 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$ izotopu potasu ^{40}K [14]. Obliczona w ten sposób dawka skuteczna (efektywna) promieniowania jonizującego wyniosła $9 \cdot 10^{-9} \text{ Sv}$ (9 nSv) na kurację. Warto nadmienić, że narażenie statystycznego mieszkańca Polski od naturalnych i sztucznych źródeł promieniowania w 2009 r. wyrażone jako dawka efektywna (skuteczna) wyniosło średnio ok. 3,19 mSv, natomiast od naturalnego izotopu potasu ^{40}K , występującego powszechnie w żywności, wyniosła ok. 0,17 mSv [4]. Można zatem wyciągnąć wniosek, że wartości obciążeń radiacyjnych spowodowane inkorporacją izotopu potasu ^{40}K podczas 21-dniowych krenoterapii i inhalacji są pomijalne w porównaniu do narażenia, jakie otrzymuje statystyczny mieszkaniec Polski w wyniku wchłonięcia izotopu potasu ^{40}K do organizmu wraz z pożywieniem.



Ryc. 2. Korelacja pomiędzy zawartością rozpuszczonych składników stałych (TDS) a stężeniem izotopu potasu ($C_{\text{K-40}}$) w badanych próbkach wody. Correlation between content of total dissolved solids (TDS) and isotope potassium concentration ($C_{\text{K-40}}$) in the analysed samples of water.

Z przeprowadzonej analizy (Ryc. 2) wynika, że istnieje dodatnia, liniowa korelacja pomiędzy stężeniem izotopu potasu ^{40}K ($C_{\text{K-40}}$) a zawartością rozpuszczonych substancji stałych (TDS). Wyznaczono równanie prostej: $C_{\text{K-40}} [\text{Bq/dm}^3] = 0,1046 \text{ TDS} [\text{g/dm}^3]$. Siłę występującej korelacji oceniono wykorzystując współczynnik Pearsona, którego otrzymana wartość $r = 0,86$ wskazuje na dość silną zależność pomiędzy analizowanymi zmiennymi.

WNIOSKI

1. Zakres stężeń izotopu potasu ^{40}K w próbkach wody pomierzonych metodą spektrometrii gamma wyniósł $0,65 - 28,42 \text{ Bq/dm}^3$, zaś średnia arytmetyczna $7,06 \text{ Bq/dm}^3$. Poziom stężenia izotopu potasu ^{40}K oznaczonego na podstawie analiz fizykochemicznych składu wody zawierał się w przedziale $0,07 - 22,87 \text{ Bq/dm}^3$, przy średniej arytmetycznej wynoszącej $2,26 \text{ Bq/dm}^3$.
2. Najniższą średnią wartość badanego radionuklidu wynoszącą $0,71 \text{ Bq/dm}^3$ odnotowano w próbkach z rejonu karpackiego, zaś najwyższą, równą $4,13 \text{ Bq/dm}^3$ w próbkach pochodzących z rejonu śląskiego.
3. Oszacowana dawka skuteczna (efektywna) spowodowana spożyciem wody zawierającej potas w ilości $2,26 \text{ Bq/dm}^3$ w trakcie 21-dniowej krenoterapii (1 dm^3 wody dziennie) wyniosła $2,94 \cdot 10^{-7} \text{ Sv}$ (294 nSv)/kurację.
4. Oszacowana dawka skuteczna (efektywna) promieniowania jonizującego wynikająca z inhalacji wody zawierającej potas w ilości $1,45 \text{ Bq/dm}^3$ w trakcie 21-dniowej kuracji ($0,2 \text{ dm}^3$ wody dziennie) osiągnęła wartość $9 \cdot 10^{-9} \text{ Sv}$ (9 nSv)/kurację.
5. Stwierdzono dość silną, dodatnią korelację pomiędzy stężeniem izotopu potasu ^{40}K a zawartością rozpuszczonych substancji stałych (TDS). Wyznaczono równanie zależności: $C_{\text{K-40}} [\text{Bq/dm}^3] = 0,1046 \text{ TDS} [\text{g/dm}^3]$.

PIŚMIENNICTWO

1. Cevik U., Damla N., Karahan G., Celebr N., Kobya A. I.: Natural radioactivity in tap waters of eastern black sea region of Turkey. Rad. Prot. Dosim. 2005, 118, 88-92.
2. Chau N. D., Michalec B.: Natural radioactivity in bottled natural spring, mineral and therapeutic waters in Poland. J. Radioanal. Nucl. Chem. 2009, 279, 121-129.
3. Drobniak M., Latour T.: Wpływ wód leczniczych stosowanych w krenoterapii na poziom elektrolitów w surowicy krwi oraz czynność mięśni gładkich jelita cienkiego w warunkach *in vitro*. Roczn. PZH 2002, 53, 359 - 369.
4. Działalność prezesa Państwowej Agencji Atomistyki oraz ocena stanu bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w Polsce w 2009 roku, Warszawa, czerwiec 2010 r.
5. Encyklopedia Techniki, Energia jądrowa, WNT, Warszawa 1970, 340.
6. Jeżewski M., Kalisz J.: Tablice wielkości fizycznych oraz pomocnicze tablice matematyczne. PWN, Warszawa 1957, 256.
7. Komunikat Miasta Gdańska i Saur Neptun Gdańsk w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Wodociąg m. Gdańska, kwiecień 2008 r.

8. Komunikat Państwowego Powiatowego Inspektora Sanitarnego w Elku. Jakość wody czystej podawanej do sieci z ujęcia miasta Elk (w okresie 18.04.2006 – 06.06.2006).
9. *Kozłowska B., Walencik A., Dorda J.*: Natural radioactivity and dose estimation in underground water from the Sudety mountains in Poland. *Rad. Prot. Dosim.* 2008, 128, 331-335.
10. Obwieszczenie Prezydenta Miasta Kalisza z 22.07.2009 r. nr WSRK 7033/34/09. Wyniki analiz wody z poszczególnych Stacji Uzdatniania w mieście Kaliszu w I półroczu 2009r.
11. *Pachocki K. A., Wieprzowski K., Bekas M., Różycki Z.*: Występowanie radonu ^{222}Rn w wodach leczniczych. *Roczn. PZH* 2009, 60, 129 – 136.
12. *Pujol L., Sanchez-Cabeza J. A.*: Natural and artificial radioactivity in surface waters of the Ebro river basin (Northeast Spain). *J. Environ. Radioact.* 2000, 51, 181 – 210.
13. Radioaktywność wód powierzchniowych w 1996 r. Raport Głównego Inspektora Ochrony Środowiska. Warszawa 1996
14. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 18 stycznia 2005 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego. *Dz. U.* Nr 20, poz. 168.
15. *Suarez-Navarro J.A., Pujol L.*: Determination of potassium concentration in salt water for residual *beta*-radioactivity measurements. *Radiation Measurements* 2004, Vol. 38, 145- 151.
16. World Health Organization. Guidelines for Drinking-water-Quality, Third edition., Vol. 1 Recommendations, WHO, Geneva 2008.

Otrzymano: 02.11.2010

Zaakceptowano do druku: 17.12.2010

