

STRESZCZENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Piotra Maciejewskiego

pt. „Zmiany stężenia aktywności ^{222}Rn w radonowej wodzie leczniczej na poszczególnych etapach: od wydobycia kopaliny ze złoża do wykorzystania tworzywa radonowego w zabiegach radonoterapii”

przygotowanej pod kierunkiem

prof. dr. hab. Tadeusza Andrzeja Przylibskiego (promotor)

oraz dr inż. Agaty Kowalskiej (promotor pomocniczy)

Cele pracy. Sformułowane zostały następujące cele pracy: (1) określenie zmian stężenia aktywności ^{222}Rn w czasie i przestrzeni w procesie eksploatacji, transportu i wykorzystania wód radonowych w zabiegach leczniczych, (2) charakterystyka procesu ucieczki radonu z wód podziemnych (radonowych wód leczniczych) do atmosfery, (3) oszacowanie dawek promieniowania jonizującego od ^{222}Rn i jego promieniotwórczych pochodnych w czasie zabiegów radonoterapii dla pacjentów i personelu medycznego oraz technicznego; natomiast celem nadrzędnym pracy było (4) opracowanie wytycznych prowadzących do wystandaryzowania i zoptymalizowania zabiegów radonoterapeutycznych.

Osiągnięcie założonych w rozprawie doktorskiej celów możliwe było dzięki dogłębnej analizie danych literaturowych, wytypowaniu odpowiednio zlokalizowanych poligonów badawczych i punktów pomiarowych, dobraniu adekwatnych metod badawczych i ostatecznie przeprowadzeniu szeregu pomiarów i analiz. Autor uzyskał zgodę na prowadzenie badań w uzdrowiskach dolnośląskich Łądek-Zdrój i Świeradów-Zdrój. Są to jedyne w Polsce uzdrowiska stosujące różnorodne zabiegi radonoterapii. Eksploatowane przez zakłady górnicze w tych uzdrowiskach lecznicze wody radonowe są źródłem radonu (izotopu ^{222}Rn) wykorzystywanego w zabiegach radonoterapeutycznych. Autor w celu wykonania pomiarów stężenia aktywności ^{222}Rn w próbkach radonowych wód leczniczych (traktowanych jako: kopalina, następnie tworzywo lecznicze i wreszcie ściek) wykorzystał bardzo czułą metodę spektrometrii ciekłoscintylacyjnej (LSC, z ang. Liquid Scintillation Counting). Pomiar stężenia aktywności promieniotwórczych pochodnych ^{222}Rn oraz stężenia energii potencjalnej promieniowania α w powietrzu zostały przeprowadzone za pomocą radiometru górniczego RGR-40. Urządzenie to jest wyposażone w półprzewodnikowy detektor krzemowy i wykonuje pomiar półautomatycznie w cyklu pomiarowym Markowa. Oznaczenia stężenia aktywności ^{222}Rn w powietrzu prowadzone były natomiast przy pomocy urządzenia referencyjnego AlphaGUARD PQ 2000PRO w trybie ciągłym, przepływowym z 10-minutowym skokiem czasu z wykorzystaniem gazoszczelnej pompy AlphaPUMP wciągającej powietrze do komory jonizacyjnej urządzenia.

Analizy wykonywane były zarówno w miejscu ujęcia kopaliny, tj. leczniczej wody radonowej, tj. w zbiorniku przy ujęciu. Następnie w zbiorniku tworzywa radonowego (leczniczej wody radonowej przed podaniem jej na zabiegi, tj. w zakładach przyrodolecznictwa) oraz na różnych etapach prowadzenia zabiegów: indywidualnych i grupowych kąpiele (pomiar w wannie i basenie) oraz indywidualnych i grupowych inhalacji (pomiar w emanatorium oraz w tętni), a także w wodzie po zabiegach odprowadzanej jako ściek.

Przeprowadzony przegląd literatury, pomiary oraz analizy miały na celu dowieść postawionych w pracy tez, którymi były: (1) zmiany stężenia aktywności ^{222}Rn w czasie i przestrzeni w procesie eksploatacji, transportu i wykorzystania wód radonowych w zabiegach leczniczych mogą sięgać dwóch rzędów wielkości, (2) kontakt radonowej

wody podziemnej z powietrzem atmosferycznym prowadzi do szybkiego zmniejszenia stężenia aktywności ^{222}Rn w wodzie leczniczej, (3) wartości dawki efektywnej promieniowania jonizującego, którego źródłem jest ^{222}Rn i jego pochodne znajdujące się w powietrzu pomieszczeń służących do zabiegów radonoterapeutycznych nie przekraczają dopuszczalnych norm dla ogółu ludności (kuracjuszy, pacjentów), jak i pracowników pracujących w warunkach narażenia zawodowego.

Układ niniejszej rozprawy odzwierciedla kolejność prowadzonych prac mających na celu realizację postawionych celów i udowodnienie postawionych w niej tez. Składa się z 12 rozdziałów, z których ostatnie 3 stanowią spisy (literatury, tabel, rysunków).

Rozdział pierwszy stanowi wstęp do rozprawy doktorskiej, w którym autor argumentuje swoją motywację do realizacji badań z zakresu wybranej tematyki. Wyjaśnia, iż wynika ona z dotychczasowego braku informacji o stężeniu aktywności ^{222}Rn w tworzywach radonowych oraz o wielkości dawek efektywnych promieniowania jonizującego pochodzącego od tego izotopu jak i jego promieniotwórczych pochodnych, jakie w czasie zabiegów otrzymują pacjenci, kuracjusze, a także personel medyczny i techniczny. Aktualnie zabiegi te stosuje się w oparciu o wieloletnie tradycje, a nie w oparciu o bieżące pomiary. Ponadto w trakcie zabiegów nie mierzy się stężenia aktywności ^{222}Rn w tworzywach radonowych ani nie mierzy się skali akumulacji radonu w pomieszczeniach po zabiegu. Problemem może się wydawać także fakt, że stosowane w uzdrowiskach zabiegi radonowe nie są wystandaryzowane. Nikt nie potrafi także stwierdzić na otrzymanie jakiej dawki efektywnej w trakcie zabiegów narażeni są kuracjusze, a jest to zagadnienie kluczowe z punktu widzenia ochrony radiologicznej.

Rozdział drugi poświęcony został radonowi. Autor opisuje w nim rys historyczny odkrycia, początkowego wykorzystania, a także okresy wzrostu i spadku zainteresowania nauki tym promieniotwórczym gazem szlachetnym. W rozdziale tym dokonano także charakterystyki radonu i jego izotopów naturalnych (opis szeregów promieniotwórczych, wybrane właściwości). Przedstawia sposób uwalniania radonu ze skorupy ziemskiej i specyfikuje radon jako składnik wód leczniczych. W tym rozdziale autor dokonuje również przeglądu dotychczasowej literatury opisującej wpływ radonu na zdrowie ludzi oraz przedstawia założenia bezprogowej hipotezy liniowej i teorii hormezy radiacyjnej, przytaczając wiele artykułów dowodzących jej słuszności. Zakończenie rozdziału stanowi spojrzenie na wykorzystanie ^{222}Rn zgodnie z przepisami prawa, tj. przedstawienie dopuszczalnej dawki efektywnej dla ogółu ludności od ^{222}Rn i jego pochodnych na podstawie obowiązującej w Polsce ustawy Prawo atomowe.

Rozdział trzeci zawiera opis podstawowych właściwości wód podziemnych. Charakterystyka została przeprowadzona w oparciu o podział właściwości na fizyczne i chemiczne. W ramach charakterystyki właściwości fizycznych opisywane są przewodność elektrolityczna właściwa (PEW) i suma rozpuszczonych składników mineralnych (TDS), temperatura (T) oraz radoczynność. Natomiast spośród właściwości chemicznych zostały przedstawione takie, jak potencjał utleniająco-redukujący (Eh) i odczyn wody (pH).

Rozdział czwarty zawiera wspomniane powyżej postawione przez autora cele i sformułowane główne tezy pracy.

Rozdział piąty został poświęcony charakterystyce obszarów badań: Łądko-Zdroju i Świeradowa-Zdroju. Autor przedstawia w nim zarys budowy geologicznej i hydrologii obu rejonów. Wyjaśnia także powody występowania na ich terenie wpływów podziemnych wód radonowych uznanych w świetle obowiązującego w Polsce prawa za wody lecznicze.

W rozdziale szóstym przedstawiony jest zakres prac i zastosowana metodyka pomiarów i badań. Przedstawiona została aparatura i metody wykorzystane do pomiarów podstawowych parametrów fizyko-chemicznych (PEW, T, Eh, pH), do oznaczania stężenia aktywności ^{222}Rn w próbkach wody i w powietrzu, do pomiarów stężenia energii potencjalnej promieniowania α i stężenia aktywności promieniotwórczych pochodnych ^{222}Rn w powietrzu. W ostatnim z podrozdziałów rozdziału szóstego autor prezentuje także sposoby obliczania dawek efektywnych pochodzących od radonu i jego pochodnych oraz podejmuje się próby wyznaczenia wartości współczynnika równowagi promieniotwórczej pomiędzy ^{222}Rn a jego pochodnymi. Autor wyprowadza także wzór, który wykorzystany został w kolejnym z rozdziałów do oszacowania dawek efektywnych na otrzymanie których narażeni są kuracjusze i personel obu dolnośląskich uzdrowisk radonowych.

Rozdział siódmy jest kluczowy w rozprawie doktorskiej. Autor przedstawia w nim wyniki przeprowadzonych badań w uzdrowisku Łądek-Zdrój (pomiarów w kopalinie oraz w również eksploatowanym powietrzu wzbogaconym w radon, a także w tworzywach radonowych podczas kąpieli w leczniczej wodzie radonowo-siarczkowej i inhalacji grupowych powietrza wzbogaconego w ^{222}Rn). Podobnie charakteryzowane są także wyniki badań w uzdrowisku Świeradów-Zdrój (pomiarów w kopalinie, w tworzywie radonowym, podczas zabiegów indywidualnych i grupowych kąpieli w leczniczej wodzie radonowej i podczas indywidualnych i grupowych inhalacji powietrza wzbogaconego w ^{222}Rn). W tym rozdziale przedstawiona jest szczegółowa analiza zmian stężenia aktywności ^{222}Rn w wodzie od momentu ujęcia kopaliny przez jej wykorzystanie aż do jej odprowadzenia do ścieków. Autor analizuje również zmiany stężenia aktywności ^{222}Rn w powietrzu w trakcie przeprowadzanych w uzdrowiskach zabiegach. Autor wyznacza również granice stężenia aktywności ^{222}Rn ze względu z jednej strony na dopuszczalną dawkę graniczną dla osób z ogółu ludności (1 mSv/rok), a z drugiej ze względu na wymagania radiologiczne jakie musi spełniać radonowa woda lecznicza (stężenie aktywności ^{222}Rn w radonowej wodzie leczniczej musi wynosić powyżej 74 Bq/dm³).

Rozdział ósmy stanowi podsumowanie przeprowadzonych badań. W trakcie analiz wyznaczono średnią wartość stężenia aktywności ^{222}Rn w kopalinie w uzdrowisku Łądek-Zdrój (wynosiła od 1136 ± 29 Bq/dm³ do 1291 ± 44 Bq/dm³) oraz w kopalinie w uzdrowisku Świeradów-Zdrój (wynosiła od 988 ± 31 Bq/dm³ do 1084 ± 30 Bq/dm³). Przedstawiono także średnią wartość stężenia aktywności ^{222}Rn w wodzie radonowej znajdującej się w zbiorniku tworzywa radonowego (wynosiła od 901 ± 22 Bq/dm³ do 1021 ± 31 Bq/dm³). W uzdrowisku Łądek-Zdrój zmiany stężenia aktywności ^{222}Rn pomiędzy kopaliną a tworzywem radonowym przed zabiegiem indywidualnych kąpieli radonowych wahały się od 500 Bq/dm³ (44,0%) do 683 Bq/dm³ (53,2%). Zmiany stężenia aktywności ^{222}Rn w wodzie radonowej pomiędzy tworzywem radonowym a ściekiem oscylowały natomiast w granicach od 27 Bq/dm³ (4,1%) do 44 Bq/dm³ (7,0%). Całkowita, średnia zmiana stężenia aktywności ^{222}Rn podczas zabiegów indywidualnych kąpieli wynosi 616 Bq/dm³ (51,0%). Oszacowana dawka efektywna możliwa do otrzymania przez kuracjusza w trakcie pojedynczego zabiegu indywidualnej kąpieli wyniosła od 1,2 do 48 nSv (średnio dla wszystkich przeprowadzonych pomiarów od 17 do 24 nSv), a podczas inhalacji od 0 nSv do 366 nSv (średnio dla wszystkich przeprowadzonych pomiarów od 95 do 119 nSv). Pracownicy obsługujący zabiegi indywidualnych kąpieli są narażeni na otrzymanie maksymalnej dawki efektywnej wynoszącej 0,28 mSv/rok, natomiast przy obsłudze inhalacji radonowych wartość tej dawki sięga 0,95 mSv/rok.

Średnia zmiana stężenia aktywności ^{222}Rn w uzdrowisku Łądek-Zdrój pomiędzy kopalnią w zbiorniku a tworzywem radonowym przygotowanym do zabiegu kąpeli indywidualnej wynosi 48,1%. Zmiana pomiędzy stężeniem aktywności ^{222}Rn w kopalinie a wodzie po zabiegu (ścieku) wynosi natomiast 51,0%. Średnia zmiana stężenia aktywności ^{222}Rn w uzdrowisku Świeradów-Zdrój od zbiornika kopaliny do zbiornika tworzywa radonowego wynosi 6,3%. Podczas zabiegów indywidualnych kąpeli średnia zmiana stężenia aktywności ^{222}Rn pomiędzy wodą leczniczą będącą kopalnią a wodą leczniczą będącą tworzywem leczniczym przed rozpoczęciem zabiegu wyniosła 25,2%, natomiast pomiędzy kopalnią a wodą po zabiegu (ścieku) wyniosła 37,0%. Podczas zabiegów inhalacji grupowych (tężnia) średnia zmiana stężenia aktywności ^{222}Rn w leczniczej wodzie radonowej na etapie przesyłu od kopaliny (w ujęciu) do tworzywa radonowego przed jej swobodnym spływem w tężni wyniosła 93,8%, natomiast od kopaliny do wody po jej spływie (przed ujęciem w zbiorniku na ścieki) wyniosła 99,8%.

W uzdrowisku Świeradów-Zdrój oszacowana dawka efektywna możliwa do otrzymania przez kuracjusza w trakcie pojedynczego zabiegu wynosi w przypadku indywidualnych kąpeli od 7 do 44 nSv (średnio dla wszystkich przeprowadzonych pomiarów 17-24 nSv), dla kąpeli w basenie od 1129 do 1674 nSv (średnio dla wszystkich przeprowadzonych pomiarów od 1324 do 1485 nSv), dla inhalacji indywidualnych od 27 022 do 35 499 nSv (średnio dla wszystkich przeprowadzonych pomiarów od 29 579 do 33 212 nSv) i inhalacji w tężni radonowo-solankowej od 4 nSv do 82 nSv (średnio dla wszystkich przeprowadzonych pomiarów od 26 do 37 nSv).

Oszacowana maksymalna dawka efektywna możliwa do otrzymania przez pracowników wynosi: 0,18 mSv/rok w przypadku obsługi grupowych inhalacji (tężnia), 0,29 mSv/rok przez pracowników obsługujących indywidualne kąpiele oraz 11,88 mSv/rok przez pracowników obsługujących kąpiele grupowe (basen). W ostatnim z przypadków należy podkreślić, że basen uzdrowiska ze względów technicznych był nieczynny. Dzięki uprzejmości uzdrowiska możliwe było wykonanie pomiarów, jednak były one prowadzone z wykorzystaniem wyłącznie zimnej wody i bez udziału kuracjuszy. Czynniki te w znacznej mierze mogły wpłynąć na otrzymane szacunkowe wartości dawek.

Osiągnięcie lub przekroczenie górnej granicy stężenia aktywności ^{222}Rn , oszacowanej ze względu na dawkę graniczną dla osób z ogółu ludności określonej w ustawie Prawo atomowe, dla zabiegów w uzdrowisku Łądek-Zdrój oraz Świeradów-Zdrój dla większości zabiegów jest realnie nieosiągalne (tak duże stężenie aktywności ^{222}Rn nie występuje naturalnie w przyrodzie). Jedynym zabiegiem, dla którego jej osiągnięcie było możliwe był zabieg indywidualnych inhalacji w uzdrowisku Świeradów-Zdrój. Przy założeniu przyjęcia 14 zabiegów wyniosła ona 2135 Bq/dm³, a przy 25 zabiegach 1198 Bq/dm³. Wskazane byłoby w związku z tym zwracanie szczególnej uwagi na stężenie aktywności ^{222}Rn w kopalinie podczas planowania zabiegów indywidualnych inhalacji.

Dolna granica stężenia aktywności ^{222}Rn w kopalinie (radonowej wodzie leczniczej) w celu utrzymania poziomu radonu powyżej 74 Bq/dm³ podczas kąpeli, wynosi dla uzdrowiska Łądek-Zdrój 700 Bq/dm³, a dla uzdrowiska Świeradów-Zdrój 464 Bq/dm³.

Rozdział dziewiąty zawiera sformułowane przez autora wnioski z przeprowadzonych badań. Zostały one pogrupowane na: dotyczące zmian stężenia aktywności ^{222}Rn , dawek granicznych, granicznych wartości stężenia aktywności ^{222}Rn oraz wystandaryzowania i zoptymalizowania zabiegów radonoterapii. Na ich podstawie autor stwierdza, że wszystkie cele pracy zostały zrealizowane, a postawione tezy zostały udowodnione.