



Prof. dr hab. inż. Henryk Bem

Kalisz, 18.09. 2023

Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Piotra Maciejewskiego p.t. „Zmiany stężenia aktywności ^{222}Rn w radonowej wodzie leczniczej na poszczególnych etapach od wydobycia kopaliny ze złoża do wykorzystani tworzywa radonowego w zabiegach radonoterapii”

Przedstawiona do recenzji praca została wykonana na Wydziale Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej pod kierunkiem prof. dr hab. Tadeusza Przylibskiego z udziałem promotora pomocniczego dr inż. Agaty Kowalskiej. Praca tematycznie pasuje do dyscypliny naukowej *Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka* i postępowanie w sprawie nadania tytułu doktorskiego prowadzone jest na Wydziale posiadającym stosowne uprawnienia.

Niezależnie od faktu, że tzw. radonoterapia, podobnie jak homeopatia są kontrowersyjnymi dziedzinami medycyny, są one prawnie dozwolone w wielu krajach, w tym w Polsce. W odróżnieniu od homeopatii, która związana jest głównie ze stosowaniem naturalnych preparatów w niskich stężeniach, praktycznie nie mających żadnego wpływu na przebieg procesów fizjologicznych w organizmie ludzkim, to w przypadku radonoterapii występuje dodatkowe zagrożenie radiologiczne od wchłoniętego do organizmu radonu, a przede wszystkim od promieniotwórczych produktów jego rozpadu. Ten rodzaj terapii uzasadniany jest występowaniem tzw. hormezy radiacyjnej tj. pożytecznym dla zdrowia efektem absorpcji niskich dawek promieniowania jonizującego i w Polsce jest stosowany w kilku uzdrowiskach dolnośląskich. Dlatego podjęcie tematyki występowania narażenia na radon w trakcie różnych zabiegów terapeutycznych w dwóch ośrodkach w Polsce uważam za celowe. Jest to naturalna konsekwencja obszernych i dobrze udokumentowanych badań zespołu prof. T. Przylibskiego dotyczących występowania radonu w wodach południowej Polski.

Jako recenzent nie mogę powstrzymać się na wstępie od skomentowania w zasadzie bezkrytycznego podejścia doktoranta do hipotezy hormezy radiacyjnej, hałaśliwie propagowanej przez zwolenników energetyki jądrowej we Francji i niestety w Polsce, głównie przez grupę uczniów prof. Jaworowskiego skupionych w Polskim Towarzystwie Nukleonicznym. W przypadku narażenia na radon i jego pochodne wydawałoby się, że po przekonujących, dobrze statystycznie udokumentowanych badaniach górników m.in. Lubina i Tomaska i przede wszystkim wynikach dla kilkunastotysięcznych kohort mieszkańców różnych krajów europejskich, Stanów Zjednoczonych, Kanady, Szwecji i Chin, do hormezy radiacyjnej należy podejść z należytą ostrożnością. Badania tych populacji, narażonych na

radon w domach, wskazują na brak podstaw do kwestionowania liniowej, bezprogowej zależności (tzw. LNT) między ekspozycją na radon a ryzykiem zachorowania na nowotwory płuc, nawet dla przedziału niskich stężeń radonu do 100 Bq/m^3 w pomieszczeniach. Powoływanie się na stare prace Luckeya, czy klasyczną pracę Cohena, który „wykazał, że wraz ze wzrostem ekspozycji na radon zachorowalność na nowotwory w USA spada” w świetle najnowszych badań epidemiologicznych, o których wspominałem, jest wątpliwym argumentem. Prace Cohena zawierały kardynalny błąd polegający na nieuwzględnieniu wpływu palenia papierosów, które jest główną przyczyną tych nowotworów. ~~a nie radon.~~ Stąd, np. w niepalącej mormońskiej społeczności stanu Utah, zapadalność na nowotwory płuc jest niska, mimo stosunkowo wysokiej zawartości radonu w tamtejszych pomieszczeniach. Oczywiście w przypadku małych dawek promieniowania odpowiedź immunologiczna organizmu w postaci działania enzymów naprawiających uszkodzenia DNA może te radiacyjne skutki częściowo niwelować i powodować adaptację kolejnych pokoleń. Jednak jak wykazali w swoim ostatnim, obszernym przeglądzie (niestety nie cytowanym przez doktoranta) Laurier i współpracownicy (J. Radiol. Prot. 43 024003 2023) dotyczącym poprawności dalszego stosowania teorii LNT, zdecydowana większość obserwowanych epidemiologicznie zależności ryzyka chorób nowotworowych od dawki, nawet w zakresie niskich dawek $\sim 10 \text{ mSv}$, w tym od promieniowania X o niskim LET, jest w zasadzie zgodna z tą teorią. Ewentualny dolny próg jej stosowalności może leżeć poniżej 10 mSv . Potwierdziły to przede wszystkim wyniki dla dorosłych populacji naświetlanych pochopnie zaraz po urodzeniu promieniowaniem X w ramach badań tomografią komputerową zalecaną przez firmy ubezpieczeniowe kilkadziesiąt lat temu. Nie potwierdzono istnienia proponowanych przez Tubianę progowych wartości granicznych 100 mSv , czy zupełnie księżycowej wartości 200 Bq/m^3 forsowanej przez Dobrzyńskiego i Fornalskiego dla stężenia aktywności radonu w mieszkaniach, poniżej których należy spodziewać się hormetycznego, czyli pozytywnego dla zdrowia oddziaływania radonu. Zresztą dwaj ostatni autorzy w odpowiedzi na krytykę wyników badań epidemiologicznych w Szwecji, potwierdzających liniowy charakter zależności ryzyka występowania nowotworów od ekspozycji na radon i braku dolnej granicznej wartości jej stosowania, w renomowanym czasopiśmie *Cancer Causes & Control* otrzymali ironiczne podziękowanie: *We also thank Dr. Fornalski and coauthors for making us aware that there exist a special organization SARI, which is of the opinion that low risk radiation is not harmful and even could be used to treat cancer and Alzheimer diseases (!?).* Cytuję to, gdyż doktorant bezkrytycznie poświęca spory akapit oświadczeniu tej organizacji, samowolnie nazywającej się *Scientist for Accurate Radiation Information*, krytycznie oceniającej teorię LNT i roczne limity dawek. Doktorant przyznaje, że zabiegi radonoterapii pomimo że budzą kontrowersje, cieszą się dużym (ja bym poprzedził to słowem *niestety*) powodzeniem.

Zdaję sobie sprawę, że moje podejście do tej formy terapii jest dyskusyjne. Doceniam i korzystam z różnych form fizykoterapii, ale np. kąpiele tzw. kwasowęglowe, czy o zgrozo siarczkowe, po których smród wysoce szkodliwego siarkowodoru towarzyszy pacjentom podczas całego pobytu w sanatoriach np. w Busku, całkowicie „wyleczyły” mnie ze stosowania wszystkich form naukowo nie udowodnionych terapii. Zdaję sobie również

sprawę, że moje podejście do tzw. hormezy radiacyjnej jest nie tyle dyskusyjne, co głosem wołającym na szczęście już nie na puszczy. Zawsze znajdują się dyżurni naukowcy chcący zabłysnąć pseudooryginalną teorią. Zawsze znajdują się pacjenci, którzy uwierzą w rewelacyjne, nieortodoksyjne metody leczenia np. nadciśnienia, choroby Alzheimera lub naturalne leki na nowotwory. Jak wykazuje praktyka ostatnich lat zaden zakaz radonoterapii w demokratycznych państwach nie jest możliwy ani celowy. Chodzi jedynie o to, aby przeprowadzić standaryzację tych metod w oparciu o realne zagrożenia radiologiczne, aby spełniona została podstawowa zasada medycyny *primum non nocere*. Szkoda, że zwolennicy hormezy radiacyjnej nie rezygnują z dodatków, które otrzymują za ich zdaniem rzekomo szkodliwą dla zdrowia pracę z substancjami promieniotwórczymi. Co więcej powinni pójść dalej, żądając od górników, eksponowanych na wyższe stężenia radonu opłaty klimatycznej za, zdaniem prof. Janiaka, dobroczynne promieniowanie, z którym spotykają się oni pod ziemią.

Poza tym dyskusyjnym podrozdziałem dotyczącym hormezy radiacyjnej nie mam zastrzeżeń do rozdziałów 1-4 części teoretycznej pracy. Doktorant poprawnie opisał występowanie radonu i jego transport z gleby do wód podziemnych, a w kolejnym podrozdziale własności wód podziemnych i określił najważniejsze ich parametry fizykochemiczne mające wpływ na występowanie w nich radonu. W kolejnym podrozdziale wyczerpująco omówił stosowane klasyfikacje wód radoczynnych. Brakuje jednak sumarycznego zestawienia światowych uzdrowisk stosujących radonoterapię i danych odnośnie stężeń aktywności radonu w stosowanych tam terapiach.

Sformułowane cele pracy zgodnie z tematem rozprawy obejmują przede wszystkim zmiany stężenia aktywności radonu na etapach od ich pozyskania do zabiegów w pomieszczeniach sanatoryjnych w Łądku Zdroju i Świeradowie. Doktorant zamierzał również w oparciu o pomiar energii potencjalnej promieniowania alfa (PAEC) w powietrzu wdychanym podczas różnych zabiegów, oszacować dawki skuteczne otrzymane przez pacjentów i personel medyczny w wyniku inhalacji radonu i produktów jego rozpadu. W rozdziale 5 omówił charakterystykę i specyfikę tych dwóch sanatoriów uwzględniając różnice w składzie geologicznym wpływającym na poziom radonu w wodach podziemnych.

Doktorant zaplanował szeroki zakres prac obejmujący zarówno pomiary parametrów fizykochemicznych w wodach radonowych dostarczanych do sanatoriów jak również pomiary stężenia aktywności radonu w nich i w powietrzu w gabinetach zabiegowych, w tym także podczas inhalacji. Nie mam żadnych zastrzeżeń co do wybranej metodyki pomiarowej radonu w wodach techniką ciekłej scyntylacji i w powietrzu przyrządem Alpha Guard. Jednak ważnym elementem tej pracy był zamiar oszacowania dawki skutecznej dla pacjentów w trakcie inhalacji radonu. Doktorant do tego celu wybrał pomiar aktywności produktów rozpadu radonu za pomocą mało precyzyjnego radiometru górniczego RGR-40, w którym limit detekcji oznaczanej energii, a nie czułość jak błędnie podają konstruktorzy tego przyrządu, wynosi $1 \mu\text{J}/\text{m}^3$, co odpowiada stężeniu radonu w zakresie od $180 \text{ Bq}/\text{m}^3$ dla stopnia równowagi produktów z radonem $F=1$ do $\sim 2000 \text{ Bq}/\text{m}^3$ dla $F=0,1$. W powietrzu o dużej wilgotności z radonem wydzielanym do inhalacyjnych ustników z bliskiej odległości od wody, można było w oparciu o dane literaturowe spodziewać się niskich stopni równowagi \sim

$F=0,2$ i z góry założyć ograniczoną jego przydatność. Szkoda, że doktorant nie przewidział możliwości porównania otrzymanych wyników z danymi otrzymanymi innymi przyrządami np. monitorem SARAD EQF 3020 lub nawet popularnym i względnie tanim przyrządem RAD7. Tym bardziej, że jak się później okazało wszystkie pomiary używanym przyrządem dały negatywny wynik tj. $< 1 \mu\text{J}/\text{m}^3$. Wyznaczenie współczynnika równowagi F pozwoliłoby na oszacowanie dawek wg. powszechnie stosowanego równania oznaczonego w pracy jako (4).

Część eksperymentalna pracy rozpoczyna się od pomiarów parametrów fizykochemicznych i aktywności radonu w miejscu ujęcia leczniczej wody radonowej w Łądku Zdroju. Pomiary przeprowadzono dwukrotnie jesienią 2021 i latem 2022 roku w trakcie których pobrano 20 próbek wody. Przedstawione w tabeli 5 parametry statystyczne tych pomiarów wykazały dobrą ich stabilność. Średnia aktywność radonu w wodach w Łądku Zdroju nie była wysoka i wynosiła $1211 \text{ Bq}/\text{m}^3$. W następnym etapie doktorant mierzył stężenie aktywności w wodzie przygotowanej do kąpieli. Ponieważ była ona mieszaniną wody radonowej z ujęcia i ciepłej wody z kotłowni wypadkowe stężenia aktywności radu były około dwukrotnie niższe. Pomiary wykonywano na początku i po kąpieli. W trakcie samej kąpieli stężenie radonu spadało nieznacznie do 95 % początkowej aktywności. Przez wszystkie dni pomiarowe w trybie ciągłym mierzono stężenie aktywności radonu w powietrzu pomieszczenia z wanną. Ze względów technicznych pomiary wykonywano w interwałach czasowych 10 minutowych i obserwowano dużą fluktuację od 200 do $1200 \text{ Bq}/\text{m}^3$ związaną z wietrzeniem pomieszczenia po kąpieli i w trakcie przygotowania nowej kąpieli dla następnego kuracjusza. Podane w tabeli 8 średnie wartości $\sim 650 \text{ Bq}/\text{m}^3$ mają wystarczającą dokładność dla oszacowania dawki spowodowanej inhalacją radonu w czasie pojedynczej kąpieli. Niestety, pomiar energii potencjalnej produktów rozpadu radonu w powietrzu nad wanną przyrządem RGR 40 zarówno przed jak i po kąpieli nie był możliwy, ze względu na wysoki limit detekcji tego przyrządu. Przyjmując (zgodnie z literaturą) dla pomieszczeń o dużej wilgotności niską wartość $F=0,2$ stężenie energii potencjalnej PAEC powinno wynosić:

$$PAEC = 650 \text{ Bq}/\text{m}^3 \times 5,56 \text{ nJ}/\text{Bq}/\text{m}^3 \times 0,2 = 0,72 \mu\text{J}/\text{m}^3$$

i rzeczywiście mogło być poniżej granicy wykrywalności tego instrumentu. Niestety, przyrząd ten nie pozwalał również mierzyć PAEC w pomieszczeniu inhalatorium, gdzie średnie stężenia aktywności w godzinach zabiegów wahały się od $2000 \text{ Bq}/\text{m}^3$ do $4000 \text{ Bq}/\text{m}^3$. W inhalatorium był wystarczający czas na osiągnięcie typowej dla pomieszczeń wartości $F=0,4$. Powinien to być sygnał ostrzegawczy dla doktoranta, że coś z tym przyrządem jest nie w porządku i prawdopodobnie podczas kalibracji zastosowano zły współczynnik kalibracji. Niezależnie od braku wartości PAEC, trzeba przyznać, że stężenia radonu w inhalatorium były wysokie co skutkowało istotnymi dawkami dla kuracjuszy w czasie zabiegu i przede wszystkim dla personelu obsługującego kuracjuszy.

Podobny zakres pomiarów obejmował sanatorium w uzdrowisku Świeradów Zdrój z pewną modyfikacją uwzględniającą zmiany w stosowanej tam terapii radonowej. Podobnie jak w Łądku doktorant rozpoczął od pomiarów radonu w ujęciu wody radonowej (łącznie 49 próbek) w różnych porach roku 2021 i 2022 oraz analiz parametrów fizykochemicznych (24 analizy). Podobnie jak w Łądku stężenia aktywności radonu były względnie stałe, ale

wyraźnie wyższe $\sim 1050 \text{ Bq/m}^3$. Natomiast pomiary w wodach bezpośrednio przed i po kąpielach wykazały, że średnie wartości stężenia aktywności radonu spadły z 789 do 656 Bq/m^3 , a więc były praktycznie takie same jak w Łądku Zdroju. Ze względu na takie same procedury w czasie zabiegów kąpielowych stężenia aktywności w powietrzu w pomieszczeniach kąpielowych wykazały podobne fluktuacje w obu uzdrowiskach, ale średnie wartości w Świeradowie były nieznacznie niższe $\sim 540 \text{ Bq/m}^3$.

W uzdrowisku Świeradów-Zdrój kuracjom oferowana jest dodatkowa terapia w postaci kąpeli w basenie z wodą radonową o stężeniu aktywności radonu $\sim 1050 \text{ Bq/m}^3$. Natomiast stężenie aktywności Rn w powietrzu nad lustrem wody w basenie ustalało się po 1 godzinie od rozpoczęcia jego napełniania do bardzo wysokiego poziomu 31000 Bq/m^3 . Na tak wysoką ekspozycję na radon i jego pochodne narażeni są nie tylko uczestnicy kąpeli, ale również personel nadzorujący kąpiel w basenie. Niestety, w swoich zapędach pseudoterapeutycznych kierownictwo tego uzdrowiska przekroczyło wszelkie granice rozsądku nie uwzględniając bezpieczeństwa radiacyjnego pacjentów, oferując indywidualne inhalacje w specjalnie przygotowanych boksach, gdzie pacjent wdycha radon wydzielający się z wody w najbliższej odległości od ustnika. W rezultacie z wody o stężeniu aktywności $\sim 1000 \text{ Bq/m}^3$ w powietrzu w pobliżu ustnika radon koncentruje się do stężenia **ponad $1\ 000\ 000 \text{ Bq/m}^3$** , a więc blisko maksimum zalecanego zakresu pomiarowego dla przyrządu Alpha Guard. Jak wykazały kilkunastokrotnie powtarzane pomiary doktoranta w różnych dniach, te stężenia są osiągane w ciągu 1 godziny od rozpoczęcia natrysku wody i są stabilne przez kilka godzin, do końca trwania sesji zabiegowej. Niestety nawet przy tak wysokich stężeniach radonu miernik RGR-40 potwierdził całkowitą swoją nieprzydatność wskazując uparcie nieobecność produktów rozpadu radonu w badanym powietrzu.

Kolejną formą zabiegów oferowanych przez to sanatorium są inhalacje grupowe w tęźni radonowo-solankowej. Jest to typowa forma relaksu, podczas której pacjenci przez ~ 25 minut wdychają powietrze z wydzielanymi składnikami z wody, która na szczycie tęźni ma niskie stężenie radonu $\sim 60 \text{ Bq/m}^3$ a w wypływającym z niej ścieku od 1 do 2 Bq/m^3 , co świadczy o intensywnym wydzielaniu radonu w tęźni. Jednak stężenie radonu w powietrzu w czasie tych inhalacji wynosiło $\sim 100 \text{ Bq/m}^3$, a więc mniej więcej tyle ile wynosi w parterowych domach jednorodzinnych starszej konstrukcji w Polsce.

Końcowa część rozprawy dotyczy oszacowania dawek efektywnych na jakie narażeni są pacjenci i personel tych sanatoriów w związku z inhalacją radonu i produktów jego rozpadu. Niestety, moim zdaniem jest to najsłabsza część tej rozprawy, osłabiająca ogólnie pozytywną opinię o niej. Zastosowanie do tych obliczeń wzoru (8) było błędem, ponieważ doktorant nie otrzymał żadnego wyniku na wartość PAEC_{rz} . Przyjęcie dla wszystkich pomiarów za PAEC_{rz} limitu detekcji energii potencjalnej RGR-40 $< 1 \mu\text{J/m}^3$ uważam za nieuzasadnione. Tylko w przypadku stężeń aktywności radonu $\sim 1000 \text{ Bq/m}^3$ dla $F = 0,2$ wynik PAEC może być w granicach $1 \mu\text{J/m}^3$. Ale przecież w godzinach porannych zabiegów stężenie radonu nad wannami wynosiło 3000 Bq/m^3 , F nie mógł być $< 0,06$. Zupełnie nieprawdopodobne jest $F < 2 \times 10^{-4}$ w szklanych kabinach w czasie indywidualnych inhalacji w Świeradowie, gdzie stężenie aktywności radonu osiągało astronomiczną aktywność 1 MBq/m^3 . Wniosek: przyrząd był źle skalibrowany i po pierwszych pomiarach **doktorant powinien się o tym zorientować.**

Liczenie dawek efektywnych ze wzoru (8) nie miało więc żadnego sensu. Ponieważ stężenie aktywności radonu było bardzo dokładnie wyznaczane, to do oszacowania rzędu tych dawek mniejszym błędem byłoby zastosowanie do ich obliczeń wzoru (4), zmodyfikowanego o prawdopodobną wielkość stopnia równowagi radonu i jego produktów –F. Jest znanym faktem, że stopień równowagi między radonem a produktami jego rozpadu maleje ze wzrostem wilgotności powietrza. Należało wtedy przyjąć dolne wartości F podawane w literaturze dla inhalacji w innych uzdrowiskach i cytowane np. w raporcie: 4. European conference on protection against radon at home and at work, Prague (Czech Republic), 28 Jun - 2 Jul 2004. Można więc było również dla ekstremalnie wilgotnych warunków podczas indywidualnych inhalacji w Świeradowie przyjąć $F = 0,1$. Obliczona wtedy wartość energii efektywnej dla jednej 15 minutowej inhalacji (0,25 h) wyniosłaby:

$$E = 1,5 \times 10^5 \text{ mSv/Bq/m}^3 \times 10^6 \times 0,1 \times 0,25 = 0,375 \text{ mSv}$$

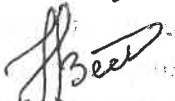
A zatem w czasie 3-tygodniowego pobytu i 20 inhalacjach otrzymana dawka może osiągnąć wartość 7,5 mSv. Jest to bardzo wyraźna różnica z oszacowaniami doktoranta. Moim zdaniem przed opublikowaniem tych interesujących wyników pomiary muszą być uzupełnione wyznaczeniem stopnia równowagi F innymi metodami.

Reasumując chciałbym podkreślić, że doktorant sumiennie wypełnił cel jakim było oszacowanie stężeń aktywności radonu i ich zmian w trakcie całej drogi od źródeł wody radonowej do różnych praktycznych zastosowań radonoterapii w dwóch sanatoriach w Polsce. Wykazał on dobre przygotowanie teoretyczne i metodyczne do realizacji zamierzonego celu. W rezultacie otrzymał interesujące wyniki wskazujące na wagę problemu zagrożeń w przypadku braku standaryzacji tych procedur. Cała rozprawa prezentuje dobry poziom naukowy w dyscyplinie inżynierii środowiska, górnictwa i energetyki, a doktorant wykazał umiejętność prowadzenia pracy naukowej.

Moje uwagi do części eksperymentalnej mają jedynie zachęcić doktoranta do dalszych badań w celu oszacowania ewentualnych zagrożeń radiologicznych związanych z tą terapią.

W tym miejscu chciałbym również pogratulować prof. Przylibskiemu wyboru tego tematu, który jest wstępem do rzetelnego oszacowania nie tylko zdrowotnych skutków radonoterapii, ale przede wszystkim wskazaniem na potencjalne zagrożenia radiologiczne i konieczność standaryzacji tych procedur, aby uniknąć niepotrzebnego narażenia pacjentów na wysokie stężenia radonu w czasie inhalacji, jak to ma miejsce w sanatorium w Świeradowie.

W moim przekonaniu praca spełnia wszystkie warunki określone *art.187 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 20 lipca 2008 r.- Prawo o szkolnictwie wyższymi nauce* (Dz. U. z 2023r. poz.742) i wnioskuję o dopuszczenie tej rozprawy przez Radę Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej do dalszych etapów postępowania związanego z nadaniem mgr inż. Piotrowi Maciejewskiemu stopnia doktora nauk technicznych.


Prof. dr hab. inż. Henryk Bem

Łódź, 18.09. 2023 r.