

Jerzy Olszewski¹Marek Zmysłony¹Małgorzata Wrzesień²Katarzyna Walczak¹

WYSTĘPOWANIE RADONU W POLSKICH PODZIEMNYCH TRASACH TURYSTYCZNYCH

OCCURRENCE OF RADON IN THE POLISH UNDERGROUND TOURIST ROUTES

¹ Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera / Nofer Institute of Occupational Medicine, Łódź, Poland
Zakład Ochrony Radiologicznej / Department of Radiological Protection

² Uniwersytet Łódzki / University of Lodz, Łódź, Poland
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Katedra Fizyki Jądrowej i Bezpieczeństwa Radiacyjnego / Faculty of Physics and Applied Informatics, Department of Nuclear Physics and Radiation Safety

STRESZCZENIE

Wstęp: W Polsce funkcjonuje około 200 podziemnych tras turystycznych. Są to jaskinie, kopalnie oraz podziemne budowle. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań mających na celu rozpoznanie zakresu występowania stężeń radonu we wnętrzach podziemnych tras turystycznych. **Materiał i metody:** W celu oszacowania stopnia zagrożenia przeprowadzono okresowe (1–2-miesięczne) pomiary stężeń radonu. Wykonano je w okresie letnim za pomocą detektorów śladowych typu Tastrak. Określono średnie stężenie radonu w powietrzu w 66 podziemnych trasach turystycznych w Polsce. **Wyniki:** W wyniku przeprowadzonych badań uzyskano 259 pomiarów średnich stężeń radonu. Średnia arytmetyczna wyników wyniosła 1610 Bqm⁻³, maksymalne zmierzone stężenie – ponad 20 tys. Bqm⁻³, a stężenie minimalne – 100 Bqm⁻³ (próg czułości metody). Stwierdzono, że w 67% tras średnie stężenie radonu przekroczyło wartość 300 Bqm⁻³, natomiast w 22 podziemnych trasach przekroczyło 1000 Bqm⁻³. **Wnioski:** Występujący w podziemnych trasach turystycznych radon w wielu przypadkach może stanowić problem organizacyjno-prawny i zdrowotny. Należy opracować program działań, których celem będzie obniżenie stężeń radonu w podziemnych trasach, szczególnie zlokalizowanych w zamkniętych kopalniach. Med. Pr. 2015;66(4):557–563

Słowa kluczowe: Polska, radon, podziemne trasy turystyczne, stężenie radonu, promieniotwórczość naturalna, środowisko

ABSTRACT

Background: There are about 200 underground tourist routes in Poland. There are caves, mines or underground structures. This paper presents the results of the research intended to identify the extent of the occurrence of radon concentrations in underground areas of tourist routes. **Material and Methods:** We conducted the measurement of periodic concentrations of radon (1–2 months) in the summer using type Tastrak trace detectors. We determined the average concentrations of radon in air in 66 underground tourist routes in Poland. **Results:** The research results comprise 259 determinations of average radon concentrations in 66 routes. The arithmetic average of the results was 1610 Bqm⁻³, and the maximum measured concentration was over 20 000 Bqm⁻³. The minimum concentration was 100 Bqm⁻³ (threshold method) considering the arithmetic average of the measurements. It was found that in 67% of the routes, the average concentration of radon has exceeded 300 Bqm⁻³ and in 22 underground routes it exceeded 1000 Bqm⁻³. **Conclusions:** Radon which occurs in many Polish underground tourist routes may be an organizational, legal and health problem. It is necessary to develop a program of measures to reduce radon concentrations in underground routes, especially routes located in the former mines. Med Pr 2015;66(4):557–563

Key words: Poland, radon, underground tourists rout, radon concentration, natural radioactivity, environment

Autor do korespondencji / Corresponding author: Jerzy Olszewski, Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, Zakład Ochrony Radiologicznej, ul. św. Teresy 8, 91-348 Łódź, e-mail: jolsz@imp.lodz.pl
Nadesłano: 5 marca 2015, zatwierdzono: 27 lipca 2015

WSTĘP

Historia radonu liczy niewiele ponad 100 lat. Odkryty został w roku 1900 przez niemieckiego chemika Friedricha Ernesta Dorna [1]. Radon ²²²Rn jako pierwiastek pro-

mieniotwórczy jest szkodliwy dla zdrowia, a ze względu na postać gazową – najbardziej dla płuc.

Jedną z najstarszych wzmianek o schorzeniach związanych z pracą w kopalni można znaleźć u Tytusa Lucrecjusza Karusa [2]. W pracy pt. „De Rerum Natura”

z I wieku p.n.e. autor opisuje szkodliwy wpływ wydobywających się z ziemi gazów na górników pracujących w kopalniach złota. Opis dotyczy podziemnych kopalń znajdujących się w pobliżu góry Anganion w starożytnej Tracji (Grecja). Ponieważ według współczesnego radiologicznego atlasu Europy jest to obszar o podwyższonym stężeniu radonu [3], można sądzić, że jednym z powodów schorzeń występujących u górników był radon i jego pochodne.

W 1556 r. Agricola opisał zwiększoną zapadalność na choroby płuc i oskrzeli wśród górników pracujących w kopalniach w rejonie Schenebergu i Jachymova [4]. W 1879 r. stwierdzono, że opisywaną chorobą był nowotwór płuc [5]. Dopiero ponad pół wieku później – w kilkanaście lat po odkryciu promieniotwórczości naturalnej przez Becquerela [6] i radioaktywnego gazu radonu przez Dorna w 1901 r. [1] – Ludewig i Lorenzer, w związku ze stwierdzeniem występowania wysokich stężeń radonu w atmosferze kopalń, dochodzących do 1350 pCi-1 (~50 kBq m⁻³), zasugerowali, że to właśnie radon może być przyczyną zwiększonej zapadalności na nowotwory płuc u górników [7].

W połowie XX stulecia stwierdzono, że nie sam radon, ale jego α -promieniotwórcze, krótkożyłowe produkty rozpadu (polon ²¹⁸Po, ²¹⁴Po, ²¹⁰Po), w postaci aerozoli promieniotwórczych zawieszonych w powietrzu, są odpowiedzialne za powstawanie nowotworów płuc [8–10].

Radon, ze względu na postać gazową i łatwość dyfundowania, gromadzi się we wszystkich pomieszczeniach zamkniętych. Należą do nich wszystkie podziemne jaskinie, grotty i kopalnie oraz inne stworzone przez człowieka obiekty (np. budowle militarne czy piwnice).

W Polsce najlepiej zbadane zostało występowanie radonu w Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie [11]. Systematyczne badania, które rozpoczęto tam w 1994 r., trwały do roku 2012. W jaskini średnie roczne stężenie aktywności radonu wynosiło 2100 Bq m⁻³ w latach 1995–2005 i 2900 Bq m⁻³ w latach 2008–2011. Oszacowano, że w latach 2008–2011 pracownicy mogli być narażeni na roczne dawki przekraczające 15 mSv/rok [11]. Podobnie wysokie stężenia radonu występują np. w czeskich jaskiniach [12].

Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera w Łodzi prowadzi obecnie systematyczną kontrolę radiologiczną trasy turystycznej „Sztolnie Kowary” w Kowarach. W ubiegłych latach prowadzone były również pomiary na trasie turystycznej „Podziemne miasto Osówka” i trasie turystycznej w Kletnie (nieczynna kopalnia uranu) [13] oraz w starych sztolniach uranowych w Dolinie Białego czy Jaskiniach Mylnej i Mroźnej [14].

Szacuje się, że w Polsce działa już około 200 podziemnych tras turystycznych, w których może być zatrudnionych łącznie ok. 1,5 tys. osób. Powszechne występowanie szkodliwego dla zdrowia radonu powinno mieć odzwierciedlenie w przepisach prawnych. Niestety w przepisach obowiązujących w Polsce tematyka radonu jest traktowana dość pobieżnie. W obowiązującej od 1 stycznia 2002 r. Ustawie z dnia 29 listopada 2000 r. Prawo atomowe stwierdzono, że działalność zawodowa związana z występowaniem promieniowania naturalnego prowadzącego do wzrostu narażenia pracowników lub ludności, istotnego z punktu widzenia ochrony radiologicznej, wymaga oceny tego narażenia [15]. Do działalności tej zaliczono m.in. prace w kopalniach, jaskiniach i innych miejscach pod powierzchnią ziemi. Nadal jednak brakuje przepisów wykonawczych do tych zapisów.

W grudniu 2013 r. ukazała się Dyrektywa Rady 2013/59/EURATOM ustanawiająca podstawowe normy bezpieczeństwa wobec zagrożeń wynikających z narażenia na działanie promieniowania jonizującego [16]. W dyrektywie stwierdzono, że ochrona przed naturalnymi źródłami promieniowania powinna zostać w pełni włączona do ogólnych zasad ochrony radiologicznej. W dokumencie zawarto również 2 stwierdzenia szczególnie istotne dla ochrony przed negatywnym wpływem radonu na organizm człowieka.

Pierwsze to informacja, „że występuje statystycznie istotny wzrost ryzyka zachorowania na nowotwory płuc w wyniku przedłużonego narażenia na radon wewnątrz pomieszczeń na poziomie rzędu 100 Bq m⁻³”. Druga to zalecenie ustanowienia przez państwa członkowskie krajowego poziomu referencyjnego dla stężeń radonu w miejscach pracy wewnątrz pomieszczeń. Wartość poziomu referencyjnego nie może przekraczać 300 Bq m⁻³ średniego rocznego stężenia radonu w powietrzu, chyba że przekroczenie „jest zagwarantowane z uwagi na panujące warunki krajowe” (art. 54 dyrektywy) [16].

Opublikowanie Dyrektywy Rady 2013/59/EURATOM zbiegło się z przeprowadzeniem przez Zakład Ochrony Radiologicznej Instytutu Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera (IMP) w Łodzi badań dotyczących występowania radonu w polskich podziemnych trasach turystycznych. Wyniki tych badań przedstawiono w niniejszym artykule.

MATERIAŁ I METODY

Pomiary w podziemnych trasach turystycznych wykonano za pomocą detektorów śladowych typu Tastrak (PADC – poly-allyl diglycol carbonate, poliwę-

glan allilo diglikolowy) umieszczanych w dozymetrach zamkniętych typu NRPB (National Radiological Protection Board – Narodowa Rada Ochrony Radiologicznej). Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera w Łodzi posiada akredytację na pomiar ekspozycji na radon za pomocą zamkniętego dozymetru pasywnego (numer akredytacji AB 327). W ramach akredytacji w roku 2013 uczestnicząco, z wynikiem pozytywnym, w międzynarodowym porównaniu metod pomiarowych stężeń radonu w czeskiej Pradze [17]. Dozymetry wzorcowane były w komorze radonowej będącej w posiadaniu IMP.

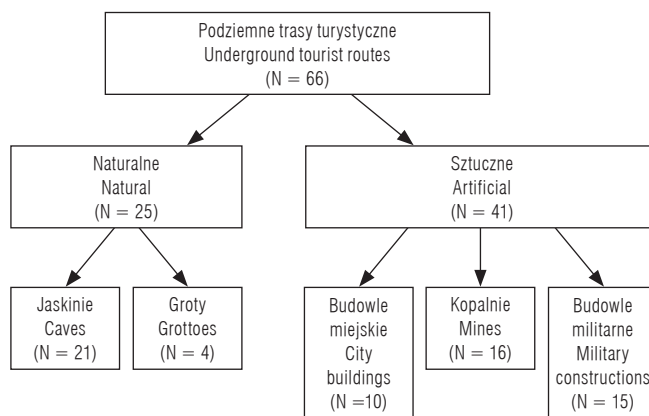
Do badań wytypowano 100 tras turystycznych, czyli wszystkie, które zostały umieszczone w książce „Przewodnik po Polsce. Podziemne trasy turystyczne” [18]. Opierając się na danych zawartych w przewodniku, na adres tras wysyłano – w zależności od ich długości – od 3 (trasy krótkie) do 7 dozymetrów (w przypadku tras liczących od kilkuset metrów do kilku kilometrów). Do dozymetrów załączano instrukcję informującą o zasadach rozmieszczania dozymetrów. Zalecono w niej m.in., żeby otrzymane mierniki umieszczać na wysokości około 2 m w miejscu zabezpieczonym przed dostępem przypadkowych osób i z zapewnionym swobodnym dostępem powietrza. Zalecono również, żeby dozymetry rozwieszać równomiernie wzdłuż całej długości trasy turystycznej i żeby okres ekspozycji na radon wynosił 1 miesiąc.

Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej. Stosowano test Kołmogorowa-Smirnowa. Analizy statystyczne przeprowadzono z użyciem programu Statistica v.10.0 MR1.

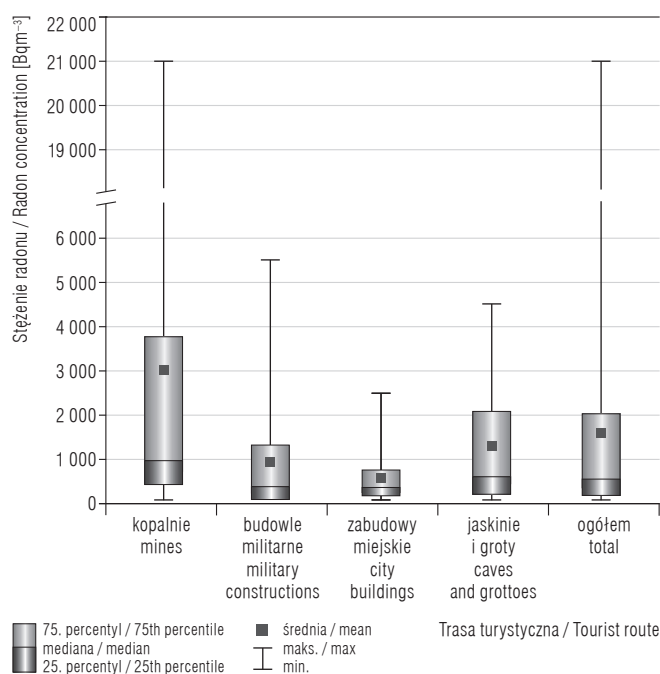
WYNIKI

Po zakończeniu okresu pomiarowego ze 100 wytypowanych podziemnych tras turystycznych do IMP wróciły dozymetry z 66 tras. W pozostałych 34 trasach nie przeprowadzono pomiarów z następujących powodów: kradzież dozymetrów (11 tras), odmowa rozmieszczenia dozymetrów bądź odesłanie dozymetrów z adnotacją „nie ekspozycja” (14 tras) oraz brak informacji o wysłanych dozymetrach (9 tras). Rodzaj zbadanych tras przedstawiono na rycinie 1.

W wyniku przeprowadzonych badań uzyskano 259 wyników średniego stężenia radonu. Średnia arytmetyczna wyników wynosi 1610 Bqm⁻³, a maksymalne zmierzone stężenie – ponad 20 tys. Bqm⁻³. Stężenie minimalne określone jest przez próg czułości metody pomiarowej [19] i wynosi 100 Bqm⁻³. Wyniki pomiarów ilustruje rycina 2.



Ryc. 1. Zbadane podziemne trasy turystyczne
Fig. 1. Examined underground tourist routes



Ryc. 2. Stężenie radonu w sztucznych i naturalnych podziemnych trasach turystycznych
Fig. 2. Radon concentration in artificial and natural underground tourist routes

OMÓWIENIE

Pomiary stężenia radonu przeprowadzone w podziemnych trasach turystycznych wykazały, że jego występowanie może stanowić realne zagrożenie dla zdrowia pracowników. Potwierdza to Dyrektywa Rady 2013/59/EURATOM [16], w której (jak wcześniej wspomniano) jako próg negatywnego działania radonu uznano 100 Bqm⁻³.

Zakres problemu, jakim jest obecność radonu w trasach podziemnych, obrazują wyniki pomiarów przedstawione na kolejnych rycinach. Przyjęte wartości stężeń radonu wynikają z odpowiednich zapisów prawnych:

- 100 Bqm⁻³ – pkt 22 preambuły Dyrektywy Rady 2013/59/EURATOM [16];
- 300 Bqm⁻³ – art. 54 ww. dyrektywy [16];
- 1000 Bqm⁻³ – przy założonym 2000-godzinnym czasie pracy istnieje możliwość przekroczenia dawki skutecznej (efektywnej) 6 mSv, co skutkuje zaliczeniem pracowników zatrudnionych w warunkach narażenia do kategorii A [15];
- 3000 Bqm⁻³ – przy założonym 2000-godzinnym czasie pracy istnieje możliwość przekroczenia dawki skutecznej (efektywnej) w wysokości 20 mSv, która jest roczną dawką graniczną dla osób pracujących w narażeniu na promieniowanie jonizujące [20,21];
- 8000 Bqm⁻³ – przy założonym 2000-godzinnym czasie pracy istnieje możliwość przekroczenia dawki 50 mSv; według Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego [20] do tej wartości może być przekroczona dawka graniczna w danym roku kalendarzowym pod warunkiem, że w ciągu kolejnych 5 lat kalendarzowych jej sumaryczna wartość nie przekroczy 100 mSv;
- 16 000 Bqm⁻³ – przy założonym 2000-godzinnym czasie pracy istnieje możliwość przekroczenia dawki skutecznej (efektywnej) w wysokości 100 mSv, czyli 5-letniej dawki granicznej [20].

Na rycinie 3. przedstawiono zmierzone w ramach niniejszego badania średnie stężenie radonu w poszczególnych punktach pomiarowych (N = 259) we wszystkich zbadanych trasach turystycznych, a na rycinie 4. – średnie arytmetyczne stężenie radonu dla zbadanych tras.

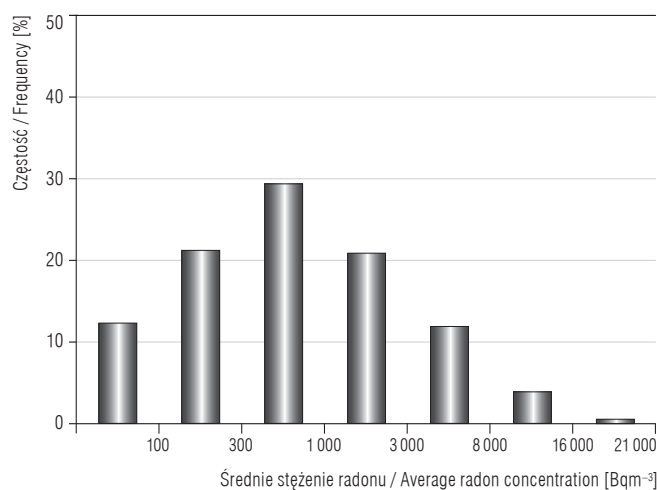
Zakres stężenia radonu na stanowiskach pomiarowych był bardzo szeroki. Trzydzieści dwa wyniki (12%) znalazły się poniżej progu czułości metody (100 Bqm⁻³), a 4 wyniki (1,5%) przekroczyły poziom 10 000 Bqm⁻³. Proponowany przez Unię Europejską poziom referencyjny (300 Bqm⁻³) przekroczyło 171 (66%) wyników pomiarów.

Rozpatrując średnie arytmetyczne pomiarów dla poszczególnych tras, stwierdzono, że tylko w jednej z nich średnie stężenie radonu było poniżej progu czułości, natomiast w 67% tras przekroczyło wartość 300 Bqm⁻³.

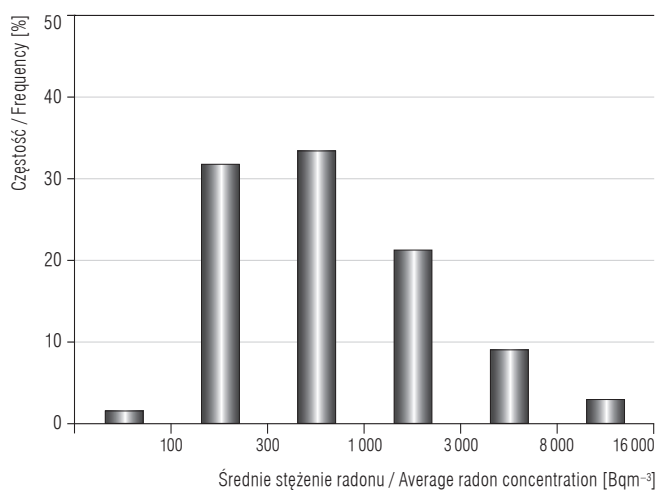
Jak wspomniano wyżej, badania prowadzono w naturalnych i sztucznych trasach turystycznych. Na rycinie 5. i 6. przedstawiono stężenie radonu w obu typach tras.

Analiza statystyczna wykazała, że stężenie radonu stwierdzone na podstawie pomiarów przeprowadzonych w naturalnych podziemnych trasach turystycznych (jaskinie, grotty) w zestawieniu ze sztucznymi (kopalnie itp.) nie różni się statystycznie ($p > 0,05$).

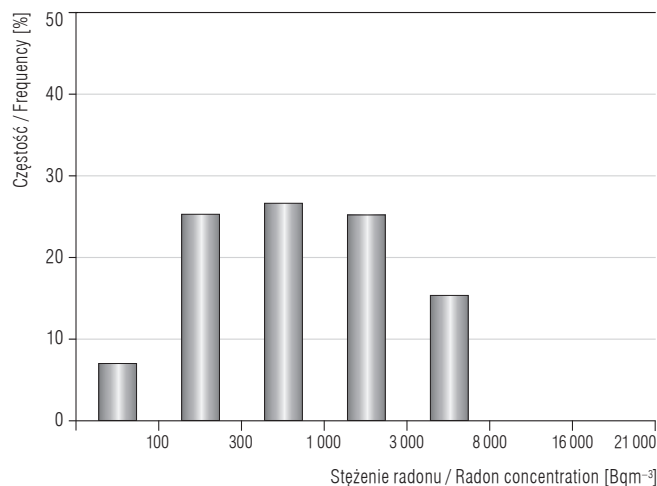
Trasy sztuczne są bardziej zróżnicowane niż jaskinie i grotty, ponieważ trasy mogą zarówno przebiegać w nich głęboko pod ziemią (nieczynne kopalnie), jak i znajdować się płytko w ziemi (bunkry). Stężenie



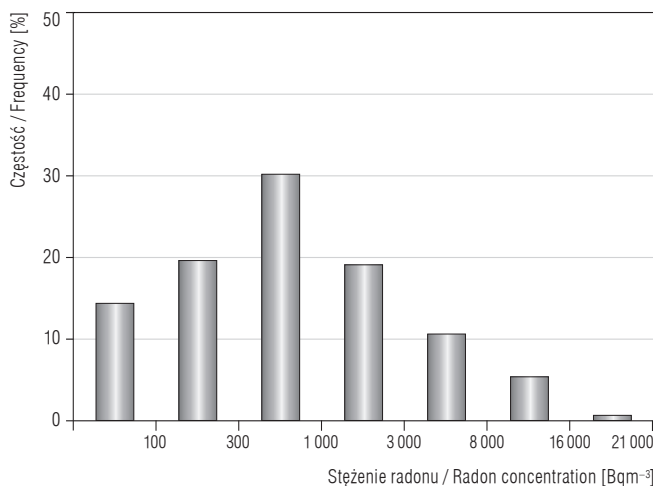
Ryc. 3. Średnie stężenie radonu we wszystkich zbadanych podziemnych trasach turystycznych w danym punkcie pomiarowym
Fig. 3. Average radon concentration in all studied underground tourist routes in a given measurement point



Ryc. 4. Średnie stężenie radonu we wszystkich zbadanych podziemnych trasach turystycznych
Fig. 4. Average radon concentration in all studied underground tourist routes



Ryc. 5. Stężenie radonu w naturalnych podziemnych trasach turystycznych
Fig. 5. Radon concentrations in natural underground tourist routes



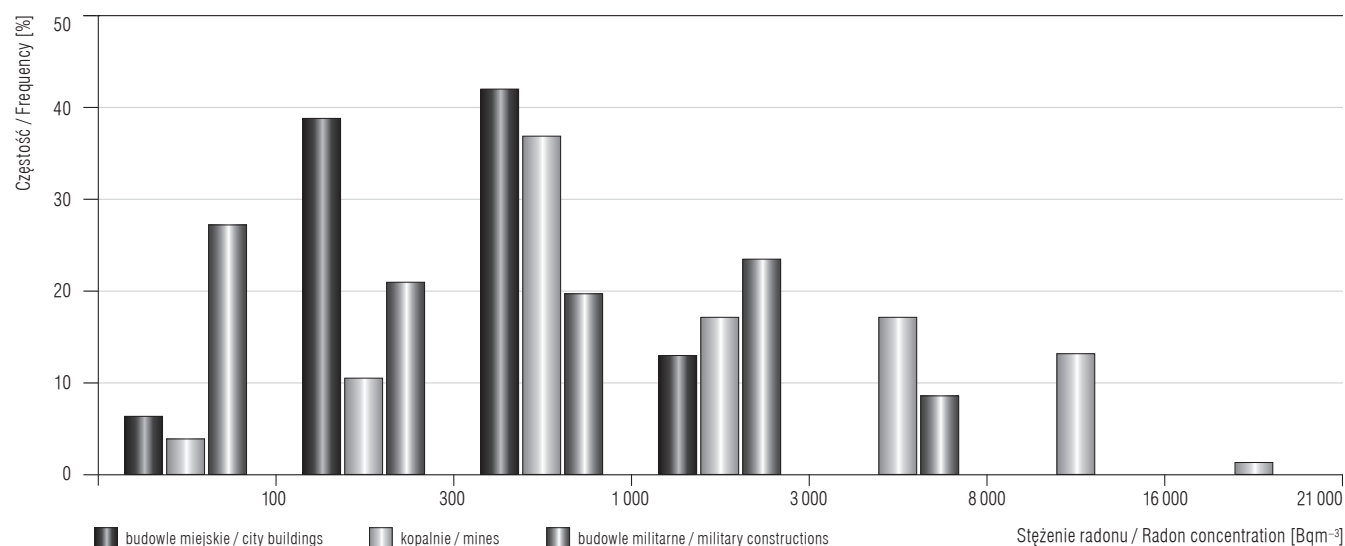
Ryc. 6. Stężenie radonu w sztucznych podziemnych trasach turystycznych
Fig. 6. Radon concentrations in artificial underground tourist routes

radonu zmierzone w poszczególnych punktach pomiarowych tras sztucznych przedstawiono na rycinie 7.

W przypadku tras sztucznych wykazano statystycznie znaczącą różnicę między stężeniami radonu zmierzonymi w kopalniach i budowlach militarnych oraz w kopalniach i budowlach miejskich ($p < 0,05$). Najwyższe stężenie radonu stwierdzono w jaskiniach i kopalniach. Porównanie tych dwóch grup tras wykazało brak statystycznej różnicy między wynikami pomiarów ($p > 0,05$). Interesujący jest brak różnicy między stężeniem radonu zmierzonym w jaskiniach i kopalniach, w których uruchomiono trasy.

Analiza wyników niniejszego badania wskazuje, że występowanie radonu w podziemnych trasach turystycznych może – szczególnie w kopalniach i jaskiniach – wywoływać problem zdrowotny u pracujących tam osób (w 98,5% tras średnie stężenie radonu przekroczyło 100 Bqm⁻³, w tym w 67,7% przypadków wynosiło powyżej 300 Bqm⁻³).

W przypadku sztucznych tras turystycznych obniżenie stężenia radonu jest możliwe przy użyciu kosztownych, jednak prostych metod – poprzez zwiększenie (poprawienie) wentylacji i odizolowanie potencjalnych źródeł radonu. Taka modernizacja praktycz-



Ryc. 7. Stężenie radonu w poszczególnych typach sztucznych podziemnych tras turystycznych w danym punkcie pomiarowym
Fig. 7. Radon concentration in different types of artificial underground tourist routes in a given measurement point

nie nie jest możliwa dla często objętych ochroną tras naturalnych – jaskiń, grot – w których mogłaby doprowadzić do zniszczenia ekosystemu. W jaskiniach „problem” radonu należy rozwiązać w inny sposób, np. przez skrócenie czasu przebywania na trasie. Analiza wpływu radonu na zdrowie pracowników i turystów podziemnych tras turystycznych będzie przedmiotem osobnej publikacji.

WNIOSKI

1. W przeważającej większości tras podziemnych zmierzone stężenie znacznie przekraczało 300 Bqm^{-3} (poziom referencyjny proponowany przez Radę Europy). W 33% przebadanych tras średnia arytmetyczna zmierzonych stężeń przekroczyła 1000 Bqm^{-3} .
2. Radon występujący w podziemnych trasach turystycznych dla wielu z nich może stanowić problem organizacyjno-prawny. Implementacja zapisów Dyrektywy Rady 2013/59/EURATOM z dnia 5 grudnia 2013 r. do prawa polskiego musi nastąpić do 6 lutego 2018 r.
3. Należy opracować program działań mający na celu obniżenie stężenia radonu w trasach podziemnych, szczególnie w powstałych w byłych kopalniach.
4. Należy prowadzić roczne pomiary stężenia radonu, szczególnie w trasach, w których jest ono podwyższone.
5. Ponieważ liczba podziemnych tras turystycznych w Polsce systematycznie wzrasta (obecnie jest ich około 200), należy kontynuować pomiary stężenia radonu w kolejnych trasach.

PIŚMIENNICTWO

6. Becquerel H.: [On the invisible radiation emitted by phosphorescent bodies]. C. R. Acad. Sci. 1896;122:501–503. Po francusku
7. Ludewig P., Lorenzer S.: [Investigations in the mine air in the Schneeberger pits on the content of radium emanation]. Zeitschrift Physik. 1924;22:178–185, <http://dx.doi.org/10.1007/BF01328120>. Po niemiecku
8. Shapiro J.V.: An evaluation of the pulmonary radiation dosage from radon and its daughter products. Rochester (NY): University of Rochester, US Atomic Energy Commission; kwiecień 1954, Raport techniczny nr UR-298
9. Bale W.F., Shapiro J.V.: Radiation dosage to lungs from radon and its daughter products. Proceedings of the International Conference on Peaceful Uses of Atomic Energy. 8–20 sierpnia 1955, Geneva, Szwajcaria. United Nations, New York 1956, ss. 233–236
10. Chamberlain A.C., Dyson E.D.: The dose of the tracheas and bronchi from the decay products of radon and thoron. Br. J. Radiol. 1956;29:317–325, <http://dx.doi.org/10.1259/0007-1285-29-342-317>.
11. Przylibski T.A.: Badania promieniowania jonizującego w Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie. W: Ciężkowski W. [red.]. Jaskinia Niedźwiedzia w Kletnie: w 45-lecie odkrycia. Wydawnictwo Maria, Nowa Ruda 2012, ss. 161–176
12. Thinova L., Rovenska K., Othal P.: Environmental and radon measurements in the underground workpallces in the Czech Republic. Nukleonika 2010;55(4):491–493
13. Olszewski J.: Ekspozycja na radon w podziemnych trasach turystycznych. W: Brząkała W. [red.]. Radon w środowisku życia, pracy i nauki mieszkańców Dolnego Śląska. Polski Klub Ekologiczny – Okręg Dolnośląski, Wrocław 2006, ss. 55–61
14. Kozak K., Mazur J., Vaupotič J., Grządziel D., Kobal I., Omran K.M.H.: The potential health hazard due to elevated radioactivity in old uranium mines in Dolina Białego, Tatra Mountains, Poland. Isotopes Environ. Health Stud. 2013;49(2):274–282, <http://dx.doi.org/10.1080/10256016.2013.771637>
15. Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. Prawo atomowe. Tekst jednolity. DzU z 2014 r., poz. 1512
16. Dyrektywa Rady 2013/59/EURATOM z dnia 5 grudnia 2013 r. ustanawiająca podstawowe normy bezpieczeństwa w celu ochrony przed zagrożeniami wynikającymi z narażenia na działanie promieniowania jonizującego oraz uchylająca dyrektywy 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom i 2003/122/Euratom. DzU UE z 2014 r., L 13/1
17. Jilek K.: Results of the 2013 National Radiation Protection Institute intercomparison of radon/thoron gas

- and radon short-lived decay product measurement instruments. National Radiation Protection Institute, Praga 2013
18. Sieradzka-Kasprzak J., Roszkiewicz J.: Przewodnik po Polsce. Podziemne trasy turystyczne. Daunpol, Warszawa 2011
19. Show H. Fong S.H., Alvarez J.L.: When is a lower limit of detection low enough? *Health Phys.* 1997;72(2):282–285
20. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego. *DzU* z 2005 r. nr 20, poz. 68
21. International Atomic Energy Agency: Radiation protection against radon in workplaces other than mines. Safety reports series No. 33. Agency, Wiedeń 2003