

mgr KRZYSZTOF MAKOWSKI  
 Centralny Instytut Ochrony Pracy  
 – Państwowy Instytut Badawczy  
 dr inż. KRYSZTIAN SKUBACZ  
 Główny Instytut Górnictwa

# Badania materiałów filtracyjnych stosowanych do ochrony układu oddechowego przed aerozolami promieniotwórczymi zawierającymi radon i produkty jego rozpadu

Wciąż istnieją zagrożenia, w odniesieniu do których brak jest zdefiniowanych wymagań oraz ustalonych metod badań sprzętu ochrony układu oddechowego (SOUO). W artykule przedstawiono opracowaną metodykę badań elementów filtracyjnych służących do ochrony układu oddechowego przed aerozolami promieniotwórczymi. Otrzymane wyniki badań wskazują na konieczność wprowadzenia dodatkowych testów dla SOUO przewidzianego do ochrony przed takimi aerozolami.

## Testing filtering materials for respiratory protection against radioactive aerosols that contain radon and its decay products

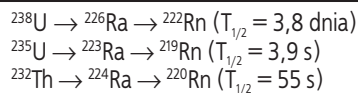
There are still hazards for which there are no test methods or requirements defined for respiratory protective devices (RPD). This article presents a test method that has been worked out for filtration elements against radioactive aerosols. Test results show that additional test methods and requirements should be introduced for RPD intended for use against such aerosols.

## Wprowadzenie

Środki ochrony indywidualnej powinny spełniać wymagania bezpieczeństwa zawarte w dyrektywie europejskiej 89/686/EWG. Postęp techniki, rozwój oraz zmiany stanowisk i warunków pracy, a także rosnące wymagania użytkowników, wymuszają stały rozwój techniczny środków ochrony indywidualnej i metod ich badań. Ponadto istnieją zagrożenia, w odniesieniu do których brak jest ustalonych metod badań odpowiednich do wymaganego poziomu ochrony. Do takich zagrożeń należą między innymi zagrożenia radiacyjne. W regulacjach prawnych ustalono dopuszczalne dawki promieniowania jonizującego jakie mogą otrzymać ludzie, a w niektórych krajach również i inne organizmy żywe. Jednocześnie jednak brak jest zdefiniowanych wymagań w odniesieniu do środków ochrony układu oddechowego narażonego na działanie izotopów promieniotwórczych, podobnie jak i odpowiedniej metody badań, która mogłaby służyć do wykonania oceny takich ochron.

Istotną rolę z punktu widzenia ochrony radiologicznej spełniają izotopy radu i produkty jego rozpadu, w tym gazowy radon oraz izotopy polonu, ołowiu i bizmutu. Wśród wymienionych izotopów, zwłaszcza krótkożyłowe produkty rozpadu radonu znajdujące się w powietrzu, mogą stanowić poważne zagrożenie dla układu oddechowego [1]. Jeżeli spojrzymy na dawki promieniowania otrzymywane z różnych źródeł przez statystycznego mieszkańca Ziemi, to udział radonu i produktów jego rozpadu jest największy. Na rysunku 1. przedstawiono dawki promieniowania w milisiwertach, otrzymywane przez statystycznego Polaka [2]. Ponad 1/3 dawki promieniowania pochodzi właśnie od tych izotopów.

Izotopy radonu powstają w trzech naturalnych szeregach promieniotwórczych [3]:



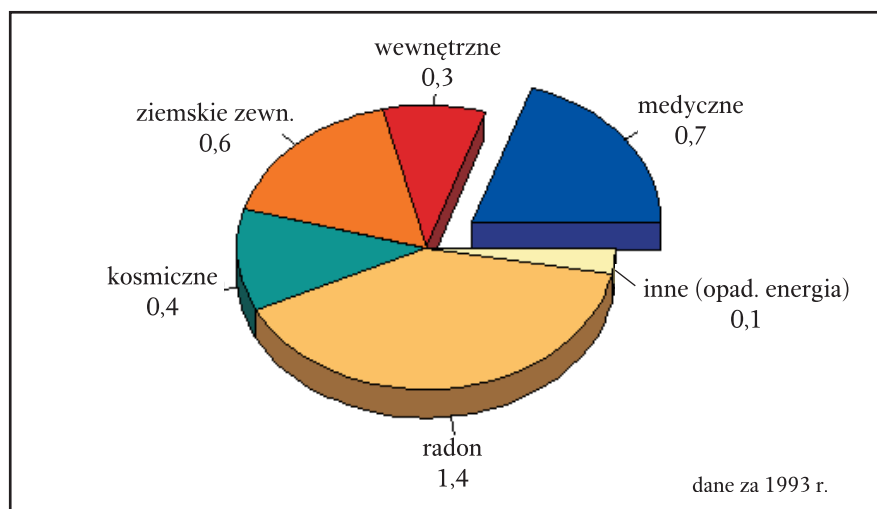
Ze względu na krótki okres połowicznego rozpadu  ${}^{219}\text{Rn}$  i  ${}^{220}\text{Rn}$  największe znaczenie ma jednak  ${}^{222}\text{Rn}$ . Wraz ze swoimi krótkożyłowymi produktami rozpadu wnika do ustroju drogą wziewną, napromieniowując nabłonek dróg oddechowych i indukując nowotwory, co zaobserwowano u górników [4]. Z tego powodu organem krytycznym narażonym w największym stopniu na oddziaływanie tych izotopów są płuca.

Okolo 80-82% izotopów polonu, powstających w powietrzu w wyniku rozpadu radonu,

występuje w postaci jonów dodatnich [5]. W ciągu około  $10^{-7}$  s od momentu powstania, większość z nich tworzy wraz z molekułami pary wodnej i gazów tzw. klastry. Klastry i wolne atomy to tzw. frakcja wolna, która w czasie 1-100 sekund łączy się z większymi cząsteczkami aerozoli o rozmiarach najczęściej do 1000 nm. Tak utworzona formacja nosi nazwę frakcji związanej (rys. 2., str. 16.).

W powietrzu znajduje się zwykle bardzo dużo różnorodnych aerozoli, do których mogą się przyczepić produkty rozpadu radonu. Rozmiary cząsteczek, tworzące złożone kompleksy z produktami radonu i toronu, zmieniają się zatem w szerokim zakresie, a charakter ich rozkładu zależy od środowiska, w którym powstały.

W porównaniu z cząstkami pyłu zawieszonymi w powietrzu produkty rozpadu radonu



Rys. 1. Dawki promieniowania (w milisiwertach) otrzymywane z różnych źródeł przez statystycznego Polaka  
 Fig. 1. Radiation doses absorbed by an average Polish citizen from different sources

są nieduże, co ilustruje rysunek 3., na którym przedstawiono, zachowując odpowiednie proporcje, jak wyglądałby fragment konturu cząsteczki (aerozolu) o rozmiarach 200 nm otoczonej chmurą atomów polonu. Rozmiar 200 nm jest przeciętnym rozmiarem aerozoli występujących w powietrzu atmosferycznym. Według niektórych autorów jest to również przeciętny rozmiar aerozoli w powietrzu kopalnianym [6].

Tego typu obiekty, o większych lub mniejszych rozmiarach, przechwytyją cząsteczki tworzące frakcję wolną, co prowadzi do powstawania promieniotwórczych aerozoli. Liczba aerozoli będzie wzrastała również w wyniku rozpadu promieniotwórczego izotopu macierzystego, jeśli przedtem był już częścią większego kompleksu, a energia odrzutu związana z rozpadem nie doprowadziła do jego uwolnienia.

### Metoda badań penetracji aerozoli promieniotwórczych

Biorąc pod uwagę obecnie stosowane metody badania penetracji elementów filtrujących stosowanych w sprzęcie do ochrony układu oddechowego oraz opisane właściwości radonu i produktów jego rozpadu, opracowano metodę badawczą umożliwiającą zbadanie penetracji aerozoli promieniotwórczych o stałej fazie rozproszenia.

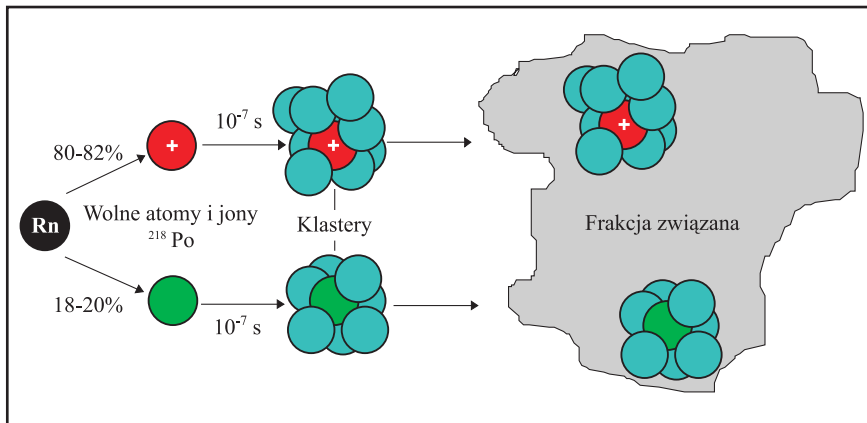
Wykonano wstępne badania w komorze radonowej na wytypowanych – najczęściej stosowanych do ochrony układu oddechowego – materiałach filtracyjnych. Porównano ich wyniki z wynikami penetracji aerozoli uzyskiwanymi standardowymi metodami z użyciem aerozolu testowego NaCl za pomocą fotometru płomieniowego i licznika cząstek. Następnie przeanalizowano otrzymane wyniki.

### Materiały do badań

Wyboru materiałów filtracyjnych przeznaczonych do badań dokonano na podstawie wcześniejszych prac prowadzonych w CIOP-PIB oraz analizy materiałów filtracyjnych stosowanych najczęściej do produkcji środków ochrony układu oddechowego [7].

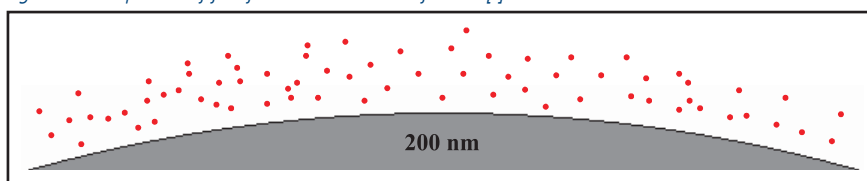
Do badań wytypowane zostały trzy grupy materiałów filtracyjnych różniące się pomiędzy sobą techniką wytwarzania i skutecznością filtracji:

- włóknina pneumatyczna elektretowa
- włóknina igłowana z efektem tryboelektrycznym
- włóknina szklana.



Rys. 2. Proces tworzenia się frakcji wolnej i frakcji związanej [1]

Fig. 2. Creation process of free fraction and bounded fraction [1]



Rys. 3. Względne rozmiary cząsteczki o średnicy 200 nm i atomów polonu (0,3 nm) [2]

Fig. 3. Relative sizes of a particle 200 nm in diameter and atoms of polonium (0.3 nm) [2]

### Aerozol testowy

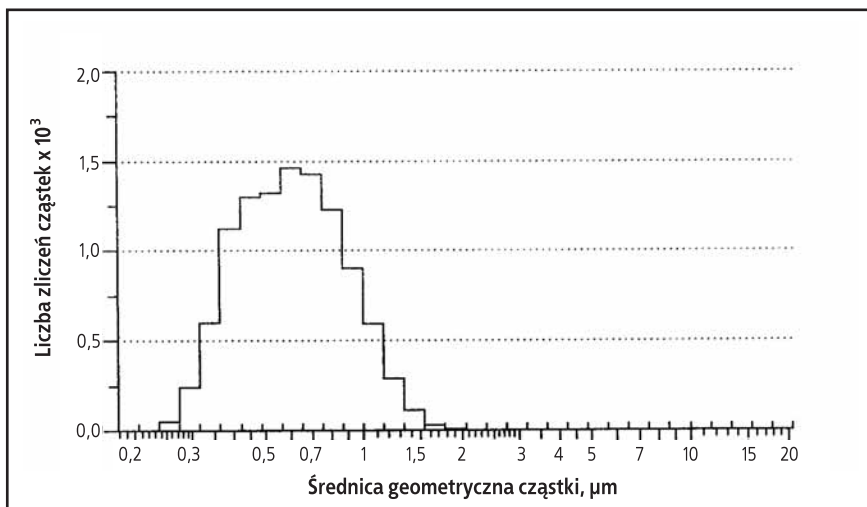
Do czynników wpływających na przebieg zjawiska filtracji należą cechy fizykochemiczne aerozoli, a w szczególności rozkład wymiarowy rozproszonej fazy rozproszonej aerozolu, stężenia aerozolu, gęstości cząstek oraz ładunku elektrostatycznego zgromadzonego na cząstkach.

Ponieważ większość atomów polonu oraz klastrow w czasie 1-100 sekund łączy się z większymi cząsteczkami aerozoli o rozmiarach najczęściej do 1000 nm oraz biorąc pod uwagę średnicę cząstek najsilniej penetrujących,

do badań, jako aerozol testowy, wytypowano aerozol chlorku sodu. Rozkład wymiarowy otrzymywanego aerozolu testowego przedstawiono na rysunku 4.

### Metoda badań

Badania materiałów filtracyjnych wykonano w komorze radonowej Głównego Instytutu Górniczego w Katowicach. Opracowana metoda badawcza polegała na zasysaniu powietrza zawierającego promieniotwórcze aerozole przez testowany materiał ( $F_x$ ) oraz filtry odniesienia ( $F_{01}, F_{02}$ ) w konfiguracji przedstawionej



Rys. 4. Rozkład wymiarowy aerozolu NaCl uzyskiwanego za pomocą generatora ultradźwiękowego

Fig. 4. Size distribution of an NaCl aerosol generated by an ultrasonic generator

na rysunku 5. Po przejściu przez filtry, powietrze docierało do dwóch identycznych rotametrów z regulowanymi zaworami ( $R_1$  i  $R_2$ ). Przepływ powietrza był wymuszany przez pompę próżniową. Natężenie przepływu powietrza ustalono na 47,5 l/min. Natężenie to odpowiada połowie wydajności oddychania ludzi wykonujących średnio ciężką pracę. Przyjęty w tym przypadku sposób postępowania wynikał z faktu, że do badań wykorzystywano elementy filtracyjne stosowane w dwufiltrowych maskach.

Podczas testowania materiałów filtracyjnych w komorze znajdowało się radowe źródło wytwarzające radon, i w dalszej kolejności krótkożytny produkt rozpadu radonu: Po-218, Pb-214, Bi-214 i Po-214, które po połączeniu się z aerozolami obecnymi w komorze tworzyły aerozole promieniotwórcze.

Pomiary aktywności promieniotwórczej prowadzono zgodnie z metodą Thomasa. Uwzględniając czas pompowania powietrza, natężenie przepływu i rozpad promieniotwórczy izotopów, można – na podstawie wyników pomiaru aktywności filtrów odniesienia – obliczyć ich stężenie w powietrzu i następnie stężenie energii potencjalnej alfa. Należy przy tym podkreślić, że wyniki pomiaru aktywności filtra  $F_{o1}$  służą do wyznaczenia stężeń izotopów i energii potencjalnej alfa w powietrzu w komorze radonowej ( $C_{\alpha 2}$ ), podczas gdy wyniki pomiaru aktywności filtra  $F_{o2}$  – ich stężenie w strumieniu powietrza za filtrem  $F_x$  ( $C_{\alpha 1}$ ). Stąd współczynnik efektywności filtrowania ( $\eta$ ) i penetracja ( $P$ ) promieniotwórczych aerozoli wynoszą:

$$\eta = \left(1 - \frac{C_{\alpha 1}}{C_{\alpha 2}}\right) \cdot 100 \quad P = \frac{C_{\alpha 1}}{C_{\alpha 2}} \cdot 100$$

Uwzględnianie stężenia energii potencjalnej alfa do obliczenia współczynnika efektywności filtrowania materiału filtracyjnego  $F_x$  wydaje się najbardziej odpowiednim podejściem, ponieważ w odniesieniu do zagrożenia spowodowanego występowaniem krótkożytnych produktów rozpadu radonu w powietrzu jest to najbardziej istotna wielkość, a jej wartość przed i za filtrem dobrze określa skuteczność ochrony przed tego typu zagrożeniami. Ponadto, w celu zagwarantowania możliwości porównania otrzymywanych wyników penetracji radionuklidów z penetracją cząstek aerozolu NaCl, prowadzono także równoległe badania penetracji na tych samych próbkach, przy użyciu licznika cząstek. Do badań penetracji cząstek aerozolu NaCl wykorzystano analizator cząstek PALAS PCS-2000.

Na rysunku 6. przedstawiono schemat ideowy stanowiska pomiarowego wykorzystywanego do badań penetracji aerozoli promieniotwórczych.

## Wyniki badań i ich analiza

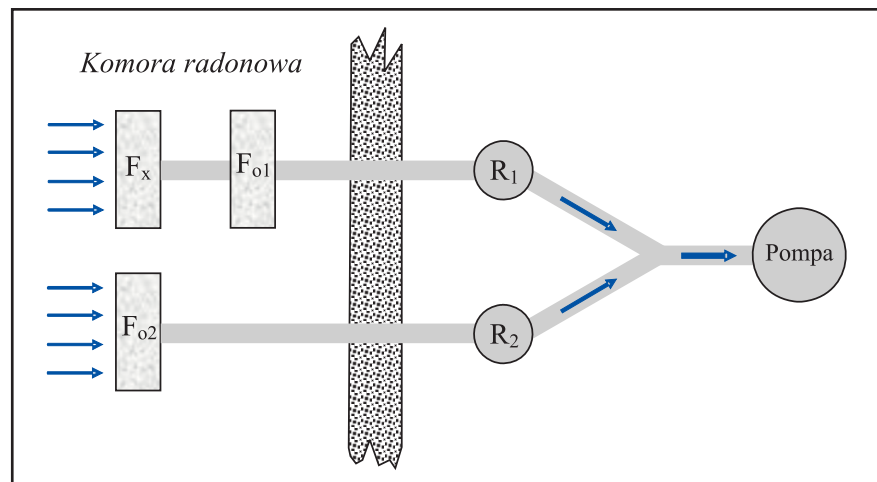
W celu dokonania oceny zaproponowanej metody badań filtrujących elementów stosowanych w sprzęcie ochrony układu oddechowego, dotyczącej wyznaczania penetracji aerozoli promieniotwórczych o stałej fazie rozproszenia, wykonano serię badań z użyciem najpowszechniej stosowanych materiałów filtracyjnych oraz umożliwiających ocenę metody w możliwie szerokim zakresie mierzonej penetracji. Przeprowadzone badania obejmowały:

- pomiary energii potencjalnej alfa aerozoli promieniotwórczych i oceny penetracji,

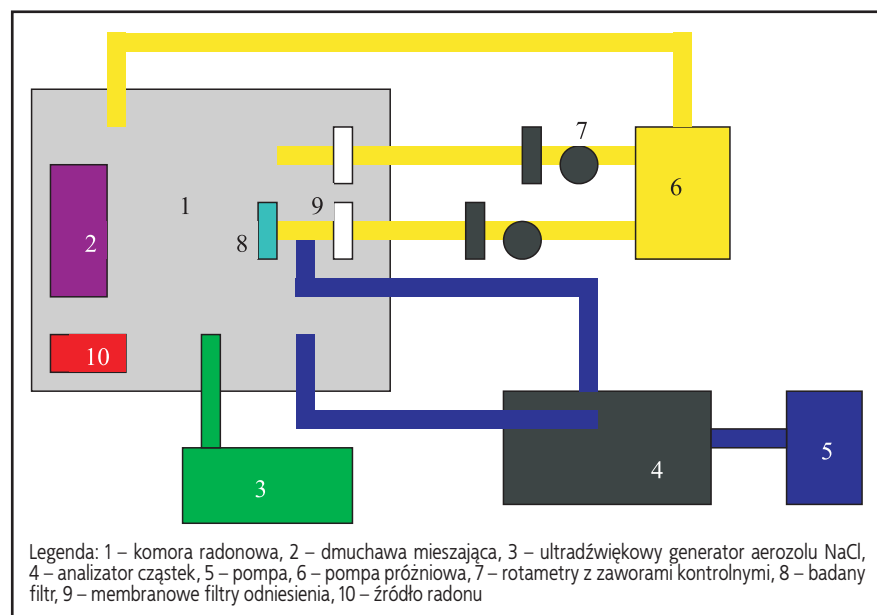
na podstawie natężenia tej energii, radionuklidów – z wykorzystaniem liczników scyntylicyjnych Quantulus

- pomiary penetracji cząstek aerozolu NaCl – stosowanego jako aerozol bazowy i nośnik nuklidów promieniotwórczych – z wykorzystaniem analizatora cząstek.

Na podstawie otrzymanych rezultatów badań (rys. 7 i 8., str. 18.) można stwierdzić, że opracowane założenia metody badawczej oraz przyjęte rozwiązania mające na celu uzyskanie odpowiedniego stanowiska pomiarowego umożliwiają prowadzenie badań penetracji aerozoli promieniotwórczych w pełnym zakresie wszystkich klas ochronnych filtrujących



Rys. 5. Układ pomiarowy z badanym materiałem filtracyjnym ( $F_x$ ), filtrami odniesienia ( $F_{o1}$ ,  $F_{o2}$ ) i rotametrami ( $R_1$ ,  $R_2$ ) [1]  
Fig. 5. A measuring set with tested filtering material ( $F_x$ ), reference filters ( $F_{o1}$ ,  $F_{o2}$ ) and flow meters ( $R_1$ ,  $R_2$ ) [1]



Rys. 6. Schemat ideowy stanowiska pomiarowego wykorzystywanego do badań penetracji aerozoli promieniotwórczych

Fig. 6. Arrangement of a test stand for testing penetration of radioactive aerosols

elementów stosowanych w sprzęcie ochrony układu oddechowego.

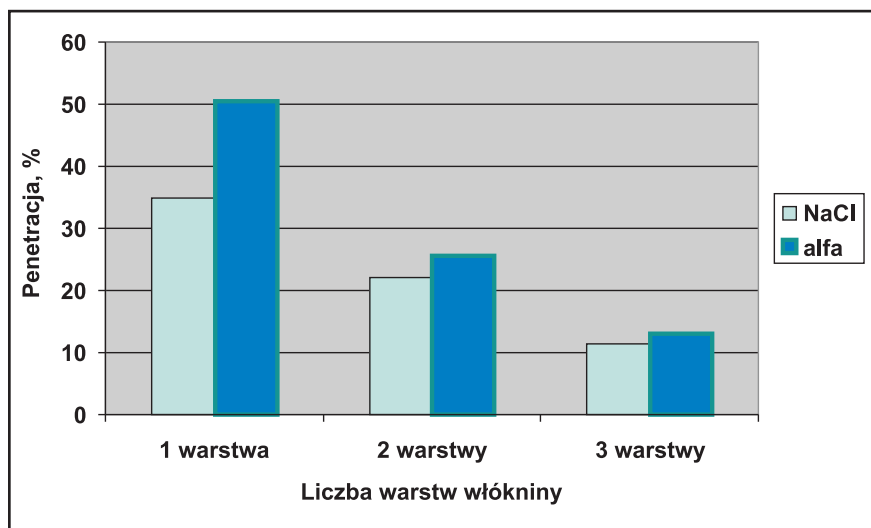
Ponadto, uzyskane wyniki wskazują jednoznacznie, że we wszystkich badanych przypadkach penetracja aerozoli promieniotwórczych była zdecydowanie wyższa niż penetracja cząstek aerozolu NaCl. Jak łatwo można zauważyć, o ile w przypadku włókniny igłowanej obserwowane różnice są stosunkowo niewielkie, to w przypadku włóknin polipropylenowych różnice te są zdecydowanie większe. W szczególności w odniesieniu do filtrów wykonanych z 2 i 3 warstw – czyli o dużej skuteczności filtracji – różnice sięgają 400%.

W celu oceny obserwowanych różnic przeprowadzono dodatkowe badania filtrów klasy P3 wykonanych z włókniny szklanej.

**Podsumowanie**

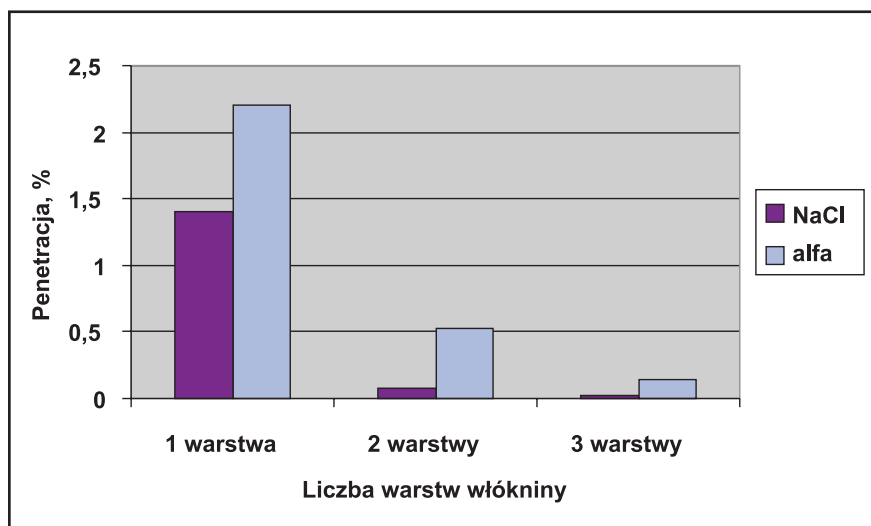
Różnice w penetracji pomiędzy aerozolem standardowym NaCl a aerozolem promieniotwórczym są na tyle duże, że należy domniemywać, iż stosowane obecnie filtry nie mogą gwarantować odpowiedniego poziomu ochrony i bezpieczeństwa pracownikom narażonym na działanie aerozoli promieniotwórczych.

Bardzo istotnym faktem, o którym należy pamiętać, jest to, że aerozole promieniotwórcze mogą być w dużym stopniu zjonizowane. Z jednej strony może wpływać to korzystnie na skuteczność filtracji; z drugiej jednak może prowadzić do utraty właściwości ochronnych filtrów wykonanych na bazie włóknin z naniesionym ładunkiem elektrostatycznym. Dlatego w dalszym etapie prac zostaną przeprowadzone badania mające na celu określenie wpływu tego czynnika na penetrację aerozoli promieniotwórczych oraz efektu kumulacji aerozoli promieniotwórczych w filtrach przeznaczonych do wielokrotnego stosowania. Poznanie obu związków i ich skutków umożliwi doprecyzowanie metody badawczej oraz określenie czasu badania. Pozwoli to również na określenie kryteriów oceny i zasad doboru filtrującego sprzętu ochrony układu oddechowego przed zagrożeniem stałymi cząstkami zawierającymi substancje radioaktywne.



Rys. 7. Porównanie penetracji aerozoli promieniotwórczych (energii potencjalnej alfa i aerozolu NaCl) przez włókninę igłowaną

Fig. 7. Comparison of the penetration of radioactive aerosols (alpha potential energy and NaCl) through needle filtering material



Rys. 8. Porównanie penetracji aerozoli promieniotwórczych (energii potencjalnej alfa i aerozolu NaCl) przez włókninę polipropylenową

Fig. 8. Comparison of the penetration of radioactive aerosols (alpha potential energy and NaCl) through melt-blown filtering material

**PIŚMIENICTWO**

[1] K. Skubacz i in. *Badania penetracji aerozoli promieniotwórczych dla różnych materiałów filtracyjnych*. GIG, Katowice 2006

[2] A. Bartkowiak-Kurska *Zawartość radonu w powietrzu, jego pochodzenie, pomiary i obniżanie stężenia*. <http://kwark.if.pw.edu.pl>, 2000

[3] E. Rochmińska *Wpływ promieniowania na organizmy*. <http://www.biolog.pl>, kwiecień 2006

[4] E. Witkowska *Zawartość radonu w powietrzu, jego pochodzenie, pomiary, obniżanie stężenia*. Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Środowiska, grudzień 2003

[5] A. Reineking, J. Porstendörfer *High-Volume screen diffusion batteries and alpha-spectroscopy for measurement of the radon daughter activity size distributions in the daughter activity size distribution in the environment*. "Journal of Aerosol Science" 1986 Vol.17, No 5, s. 873-879

[6] A. Birchall, A.C. James *Uncertainty analysis of the effective dose per unit exposure from radon progeny and implications for ICRP risk-weighting factors*. "Radiation Protection Dosimetry" 1994 Vol. 53, No 1-4, s. 133-140

[7] K. Makowski *Deposition and Resuspension of Selected Aerosols Particles on Electrically Charged Filter Materials for Respiratory Protective Devices*. "International Journal of Occupational Safety and Ergonomics". Vol. 11 No. 4, 2005

*Publikacja opracowana na podstawie wyników uzyskanych w ramach II etapu programu wieloletniego pn. „Dostosowywanie warunków pracy w Polsce do standardów Unii Europejskiej” dofinansowywanego w latach 2005-2007 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy*