

BARBARA KUBICA

*Zakład Fizykochemii Jądrowej  
Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego w Krakowie  
Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków  
Katedra Nauk o Środowisku  
Akademia Górniczo-Hutnicza  
Al. Mickiewicza 30, 03-059 Kraków  
e-mail: kubica@alf.ifj.edu.pl*

## PILOTAŻOWE BADANIA ZAWARTOŚCI $^{137}\text{Cs}$ , $^{239+240}\text{Pu}$ i $^{40}\text{K}$ W PRÓBKACH GLEBY Z TATRZAŃSKIEGO PARKU NARODOWEGO

### WSTĘP

Zanieczyszczenie środowiska przyrodniczego stanowi jedno z głównych antropogenicznych zagrożeń Tatrzańskiego Parku Narodowego (TPN). Szczególny rodzaj zanieczyszczeń stanowią pierwiastki promieniotwórcze. Niektóre z nich znalazły się w środowisku Ziemi w momencie jej tworzenia i część z nich pozostała do tej chwili. Stanowią one grupę naturalnych izotopów promieniotwórczych istniejących i tolerowanych w środowisku biologicznym, np.  $^{40}\text{K}$ . Istotnym problemem dla ochrony środowiska są sztuczne radioizotopy, tzn. takie, które zostały wyprodukowane przez człowieka, np.  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$  i  $^{241}\text{Am}$ . W wyniku wybuchów jądrowych

prowadzonych przez supermocarstwa w latach 60. ubiegłego stulecia, a także po awarii elektrowni atomowej w Czarnobylu na obszarze TPN pojawiło się skażenie  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$ -radioizotopami.

Dotychczasowe badania rozmiarów i przestrzennego rozkładu zanieczyszczeń na terenie Tatrzańskiego Parku Narodowego dotyczyły w głównej mierze substancji lotnych, takich jak dwutlenek siarki, tlenki azotu, fluor czy ozon, a jedynie w mniejszym zakresie metali ciężkich (MIECHÓWKA i MIKOŁAJCZYK 1996) i substancji ropopochodnych (KRZAN 1989, 1993; KRZAN i SKAWIŃSKI 1993).

### TEREN BADAŃ I METODYKA

Tatrzański Park Narodowy obejmuje najmłodsze i najwyższe w Polsce góry fałdowe powstałe w wyniku orogenezy alpejskiej. W plejstocenie uległy one zlodowaceniowi, które ustąpiło ok. 10000 lat temu. Ze względu na różnice w charakterze krajobrazu, budowę geologiczną i rodzaj tworzących je skał Tatry Polskie dzielą się na dwie części: Tatry Wysokie i Tatry Zachodnie. Tatry Wysokie, zbudowane ze skał krystalicznych (granodioryty i granity), tworzą

ostry grzbiet górski z licznymi bocznymi odgałęzieniami. Krajobraz ich cechuje się charakterystycznymi formami polodowcowymi: ostre szczyty i granie oraz liczne kotły zajęte w większości przez jeziora. Tatry Zachodnie natomiast, zbudowane są ze skał metamorficznych (gnejsy i łupki metamorficzne) i osadowych (wapienie, dolomity i piaskowce). Krajobraz ich składa się z licznych malowniczych dolin z ostańcowymi formami skalnymi. Tatry, podob-

nie jak Alpy, mają skomplikowaną budowę płaszczowinową. Na trzonie krystalicznym leży płaszczowina wierchowa (Czerwone Wierchy,

Giewont), na niej zaś płaszczowiny reglowe (dolna, środkowa i górna), a na końcu pokrywa eoceńska (NYKA 1972, MIRK 1996).

#### CHARAKTERYSTYKA PODEJMOWANEJ PROBLEMATYKI

W skorupie ziemskiej znajduje się 60 naturalnych radionuklidów, a dodatkowych kilkanaście jest wytworzonych przez promieniowanie kosmiczne (HRYNKIEWICZ 1993). Oprócz wpływu tego typu radionuklidów, otoczenie ulega także skażeniom pierwiastkami promieniotwórczymi powstającymi wskutek działalności człowieka. Głównym źródłem ich obecności są: (i) wybuchy jądrowe prowadzone w atmosferze, (ii) katastrofy reaktorów oraz (iii) przeróbka i składowanie paliwa jądrowego.

W wyniku wybuchu, a następnie pożaru reaktora jądrowego w Czarnobylu do atmosfery przedostało się kilkadziesiąt izotopów promieniotwórczych o łącznej aktywności przekraczającej  $10^{19}$  Bq. W Zakładzie Fizykochemii Jądrowej w Instytucie Fizyki Jądrowej w Krakowie prowadzono badania na zawartość izotopów promieniotwórczych pochodzących z Czarnobyla takich jak  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$  i  $^{241}\text{Am}$ , w ściółce leśnej na terenie całej Polski. Dużo uwagi poświęcono badaniom obecności  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{134}\text{Cs}$  w środowisku (MATERIAŁY ZJAZDOWE 1996). Prace te przyczyniły się do wyjaśnienia obiegu tego pierwiastka w ekosystemach, zaś cykl biogeochemiczny innych radionuklidów jest słabo znany.

Rozróżnia się dwa rodzaje składu izotopowego skażeń promieniotwórczych po katastrofie czarnobylskiej: opad typu paliwowego i typu kondensacyjnego (KRASNOV 1998).

Typ paliwowy charakteryzuje się trudną do zaniechania obecnością izotopów promieniotwórczych, trudnotopliwych, nielotnych pierwiastków, takich jak pluton i inne transurany, oraz ceru, europu, niobu, cyrkonu, rutenu i strontu. W opadzie kondensacyjnym dominującym długożyciowym izotopem jest  $^{137}\text{Cs}$ . Typ paliwowy opadu związany jest z obecnością znacznych ilości drobnych fragmentów paliwa jądrowego – tzw. gorących cząstek typu paliwowego (BRODA 1987, BRODA i współaut. 1989). Dla znacznego obszaru Polski obserwowany był opad typu kondensacyjnego. Obecne w środowisku Tatrzańskiego Parku Narodowego radionuklidy  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{241}\text{Am}$

i plutonu pochodzą z wcześniejszego opadu promieniotwórczego, związanego z prowadzeniem testów z bronią jądrową, praktycznie zakończonych traktatem w 1963 r. (RAPORT 1977). W kondensacyjnym opadzie promieniotwórczym z Czarnobyla stanowiły one niewielką domieszkę. Przykładowo stosunek aktywności  $^{137}\text{Cs}$  do  $^{90}\text{Sr}$  wynosił w przybliżeniu 50:1, podczas gdy w opadzie typu paliwowego średnio stosunek ten był bliski 2:1 (RAPORT 1991, MIETELSKI i VAJDA 1997).

W Polsce opad czarnobylski typu paliwowego wystąpił w najbardziej oddalonym na północny-wschód terenie Polski, np. w Puszczy Augustowskiej (PIEŃKOWSKI i współaut. 1987, LILJNZIN i współaut. 1988, JARACZ i współaut. 1990, MIETELSKI 1998, MIETELSKI i współaut. 1999). Po kilkunastu latach od wystąpienia opadu izotopy z „gorących cząstek” (BRODA i współaut. 1989) uległy w różnym stopniu wymyciu i zostały wprowadzone w obieg w ekosystemach. W ostatnich latach prowadzono badania mające na celu określenia stężenia  $^{90}\text{Sr}$  w kościach dzikich zwierząt z Puszczy Augustowskiej (MIETELSKI i współaut. 2002). W 2000 r. przeprowadzono pilotażowe badania na zawartość gamma emiterów  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{134}\text{Cs}$  oraz naturalnego  $^{40}\text{K}$  w próbkach gleby pobranych w dwóch skrajnie położonych walnych dolinach (w Dolinie Rybiego Potoku i w Dolinie Kościeliskiej). W niektórych próbkach był oznaczany także alfa emiter  $^{239+240}\text{Pu}$ . Najbardziej interesujące pod względem zwiększonej zawartości radionuklidów, okazały się dolinki lub niecki położone powyżej 1300 m n.p.m. np: Dolinka za Mnichem, niecka Czarnego Stawu nad Morskim Okiem oraz okolice Smreczyńskiego Stawu (KUBICA i współaut. 2001a, b).

Nasze badania koncentrowały się w pierwszym rzędzie na ustaleniu przestrzennego rozkładu pierwiastków promieniotwórczych na terenie Tatrzańskiego Parku. Prace te mogą być wykorzystywane w praktycznych działaniach na rzecz ochrony dziedzictwa przyrodniczego polskich Tatr.

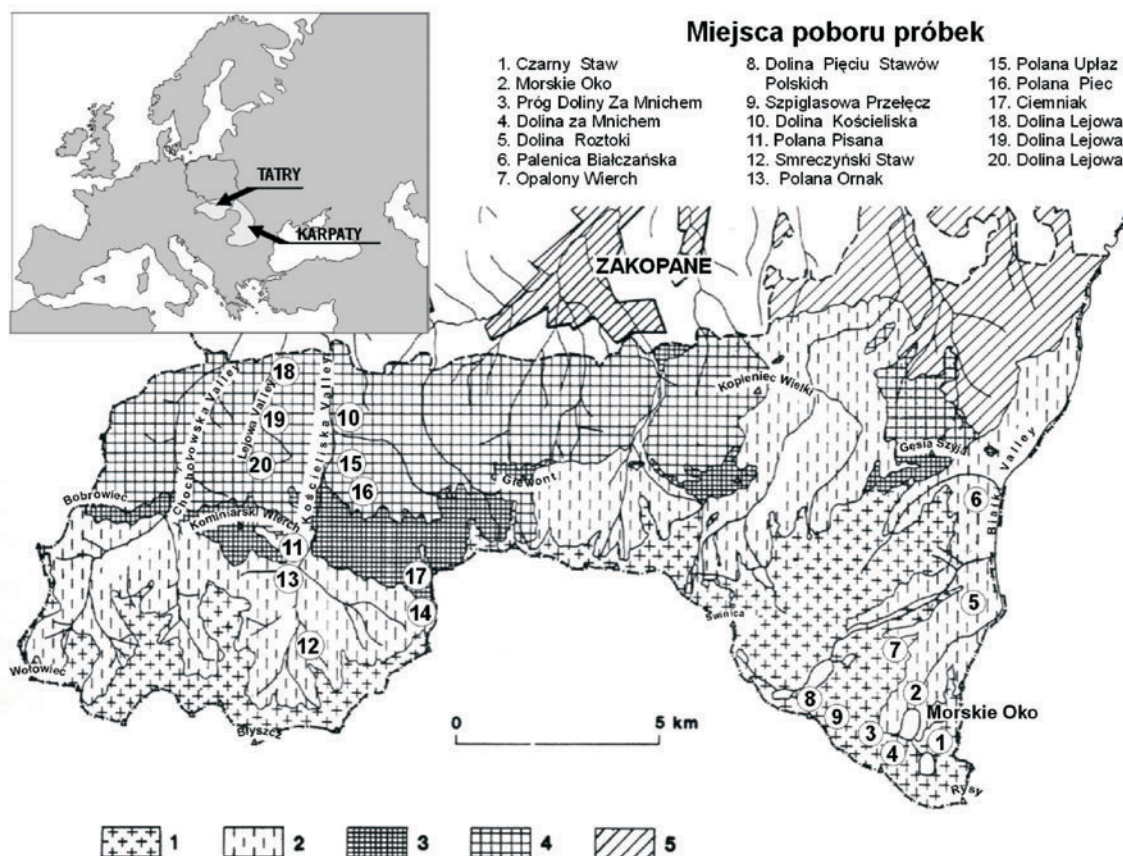
# METODY POMIAROWE

Wykonano pomiary przestrzennego rozkładu skażenia radioizotopami  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{238}\text{Pu}$  i naturalnym  $^{40}\text{K}$  w próbkach gleby pobranej z obszarów dwóch walnych dolin na terenie Tatrzańskiego Parku Narodowego. Poboru próbek dokonano w sierpniu i październiku 2000 i 2001 roku. Pod uwagę wzięto dwie skrajnie położone doliny, najbardziej na wschód wysuniętą Dolinę Rybiego Potoku (zbudowaną ze skał krystalicznych (granitoidów) i Dolinę Kościeliską (zbudowaną ze skał metamorficznych (gnejsy i łupki metamorficzne) i osadowych (wapienie, dolomity i piaszczowce). Próbki były pobierane w różnych regionach wymienionych dolin z uwzględnieniem profilu wysokościowego. Miejsca poboru próbek zostały zaznaczone na mapie Tatr (Ryc.1).

Poboru próbek dokonywano za pomocą specjalnych cylindrycznych próbników, pozwalających na uzyskanie rdzeni glebowych o

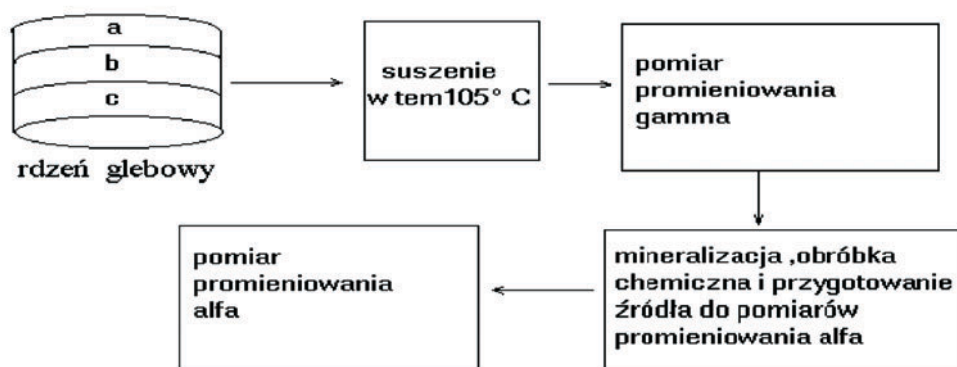
średnicy i wysokości 10 cm. Następnie, rdzenie glebowe były cięte na trzy plastry o wysokości około 3 cm, co pozwalało na oznaczanie badanych radioizotopów na różnych głębokościach [od 0–3 cm (a), następnie 3–6 cm (b) i 6–10 cm (c)]. Na tej podstawie można było określić rozkład badanych radioizotopów w poszczególnych warstwach gleby. Przed przygotowywaniem próbek do analizy gammaspektrometrycznej usunięto makroszczątki roślinne, suszono materiał w temperaturze  $105^{\circ}\text{C}$  i przesiewano przez sita mechaniczne o średnicy oczek 1 mm. Do pomiarów alfaspektrometrycznych próbki były mineralizowane i poddawane procedurze chemicznej w celu otrzymania cienkiej tarczy pomiarowej (Ryc. 2).

Wyniki zawartości  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  i  $^{239+240}\text{Pu}$  dla regionu Doliny Rybiego Potoku i dla regionu Doliny Kościeliskiej wyrażano w  $\text{Bq kg}^{-1}$  suchej masy lub w przeliczeniu na jednostkę powierzchni.



Ryc. 1. Mapa gleb Tatrzańskiego Parku Narodowego (według SKIBY 1996) z uwzględnieniem miejsca poboru próbek.

1 – litosole i regosole; 2 – gleby bielcowe i rankery; 3 – rudziny inicjalne i butwinowe; 4 – rudziny i pararendziny; 5 – gleby brunatne kwaśne, gleby brunatne wylugowane, oglejone



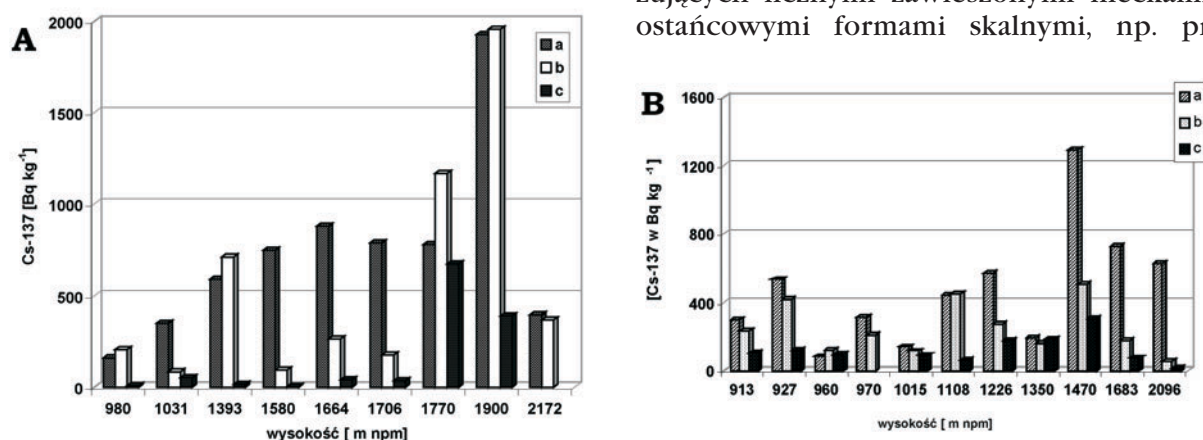
Ryc. 2. Schemat metodyki pomiarowej

## WYNIKI I DYKUSJA

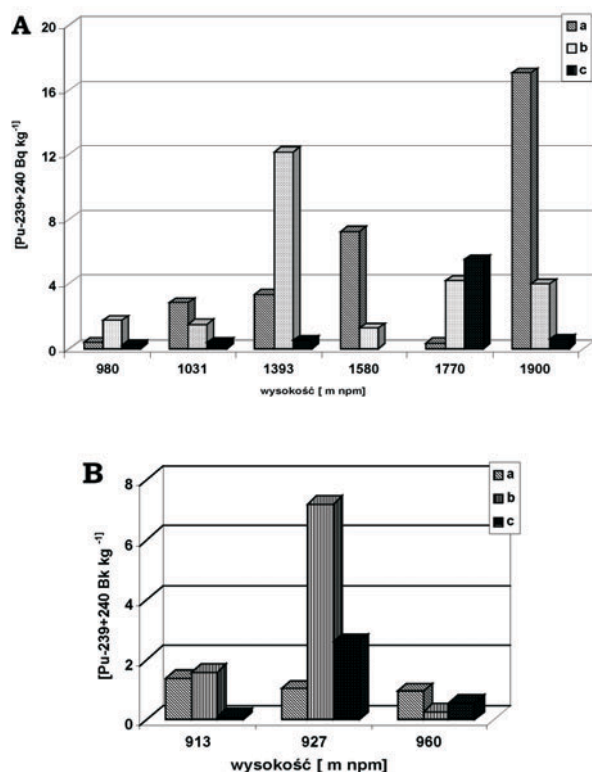
Korzystając z danych pomiarowych sporządzono wykresy zależności aktywności  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{239+240}\text{Pu}$  w jednostce masy od wysokości miejsca, z którego były pobierane próbki dla regionu Doliny Rybiego Potoku (Ryc. 3A i 4A) i dla regionu Doliny Kościeliskiej (Ryc. 3B i 4B).

Pomimo stosunkowo niewielkich obszarów zajmowanych przez wymienione doliny (każda z nich posiada około 10-12 km długości i około 2-4 km szerokości) stężenie cezu i plutonu było bardzo zróżnicowane od 1927 Bq kg<sup>-1</sup> w Dolince za Mnichem do 161 Bq kg<sup>-1</sup> na polanie Palenica Białczańska w obszarze Doliny Rybiego Potoku i od 1294 Bq kg<sup>-1</sup> na Hali Piec do 149 Bq kg<sup>-1</sup> na Hali Pisanej w rejonie Doliny Kościeliskiej (Rys. 3A i B). Zmiany koncentracji plutonu w obu dolinach przedstawiały się podobnie jak w przypadku cezu – maksymalne stężenia plutonu zaobserwowano w próbkach pobranych z Dolinki za Mnichem,

podczas gdy na polanie Palenica Białczańska stężenie plutonu było prawie czterdziestokrotnie mniejsze. W Tatrach Zachodnich zawartość plutonu oznaczona była w niewielkiej ilości próbek i w związku z tym trudno jest wyciągnąć wiarygodne wnioski o jakiegokolwiek zależności od miejsca poboru próbek, jak i profilu glebowego (Ryc. 4A i B). Zawartość cezu i plutonu w próbkach gleby pobranych na obszarze TPN wzrasta z wysokością miejsca poboru i jest zależna od rzeźby terenu. Znakomita ilość  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{239+240}\text{Pu}$  znajduje się w pierwszych dwóch poziomych powierzchniach glebowych (do 6-7 cm głębokości) (Ryc. 3 i 4). W przypadku obu dolin największe stężenie cezu i plutonu zaobserwowano w niewielkich, bezodpływowych, nieckowatych formach polodowcowych zawieszonych powyżej 1200 m npm, np.: Dolinka za Mnichem, Dolina Czarne-go Stawu pod Rysami w rejonie Doliny Rybiego Potoku czy w Tatrach Zachodnich charakteryzujących licznymi zawieszonymi nieckami z ostańcowymi formami skalnymi, np. przy



Ryc. 3. Stężenie cezu-137 w trzech warstwach gleby (a, b i c) pobranej z regionu (A) Doliny Rybiego Potoku i (B) Doliny Kościeliskiej w zależności od wysokości miejsca poboru.



Ryc. 4. Aktywność  $^{239+240}\text{Pu}$  w trzech warstwach gleby (a, b i c) pobranej z regionu (A) Doliny Rybiego Potoku i (B) Doliny Kościeliskiej w zależności od wysokości miejsca poboru próbek.

Smreczyńskim Stawie czy na wypłaszczeniu Hali Piec.

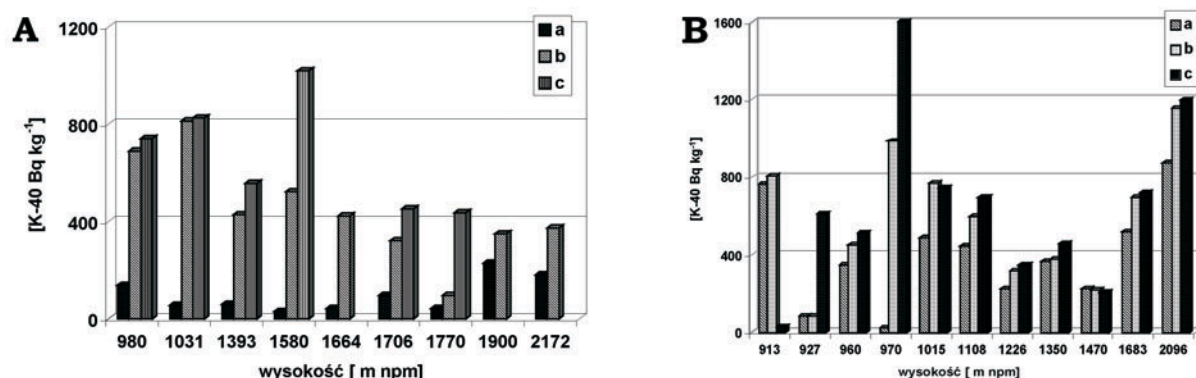
Zróznicowana aktywność  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{239+240}\text{Pu}$  w przeliczeniu na jednostkę powierzchni korespondowała ze zróznicowaniem obserwowanym dla stężenia tych radionuklidów wyrażonych na jednostkę masy.

Przedstawione wartości aktywności cezu-137 w tych rejonach przekraczają wartości podane przez STRZELECKIEGO i współaut. (1993) liczone dla progu Pogórza Karpackiego.

Tatry leżą w strefie przejściowej między klimatem morskim, a kontynentalnym, z czego wynika duża zmienność pogody na tym obszarze. Do charakterystycznych cech klimatu tatrzańskiego należą: częste i gwałtowne spadki ciśnienia, częste inwersje temperatur, wzrost wilgotności względnej oraz zachmurzenia w lecie i spadek w zimie. Wielkość opadów (przeciętnie wynosi 1600 mm) zależy od wysokości nad poziomem morza, kierunku dolin,

ekspozycji wietrznej i wysokości względnej grzbietów. Liczba dni z pokrywą śnieżną wynosi od około 100 u podnóża do około 290 w najwyższych partiach gór. Sumy rocznych opadów rosną od przedpola ku szczytom Tatr (MIREK 1996). Zwiększoną koncentrację cezu i plutonu w wierzchniej warstwie na dnie wysoko zawieszonych dolin, niecek czy wypłaszczeń można też tłumaczyć spłukiwaniem materiału glebowego z partii szczytowych. Daje się to zaobserwować w Dolinie Rybiego Potoku. W próbce gleby pobranej z Przełęczy Szpigławskiej (2172 m n.p.m.) stężenie radionuklidu cezu-137 jest rzędu  $398 \text{ Bq kg}^{-1}$ , podczas gdy na dnie Doliny za Mniczem (1900 m n.p.m.) stężenie to wynosi  $1927 \text{ Bq kg}^{-1}$ , zaś przy Morskim Oku (1393 m n.p.m.) koncentracja cezu jest rzędu  $591,1 \text{ Bq kg}^{-1}$ . Przy zmianie wysokości o 272 m stężenie cezu spada prawie pięciokrotnie (bardzo strome stoki) zaś przy zmianie wysokości o 507 m koncentracja spada trzykrotnie (bardziej łagodne stoki). Zmiana koncentracji plutonu  $^{239+240}\text{Pu}$  przy przejściu wysokości z 1900 m n.p.m. ( $17,03 \text{ Bq kg}^{-1}$ ) do 1393 m n.p.m. ( $3,332 \text{ Bq kg}^{-1}$ ) jest pięciokrotna (Ryc. 3A i 4A). Zbadano także zależność pomiędzy obecnością radionuklidu cezu a procentową zawartością materiału organicznego w glebie. Nie zaobserwowano żadnej korelacji pomiędzy tymi wielkościami. Przeprowadzono badania w celu określenia zawartości naturalnego  $^{40}\text{K}$  w próbkach gleby pobranej z Doliny Rybiego Potoku (Ryc. 5A) i z Doliny Kościeliskiej (Ryc. 5B).

Potas jest głównie związany z częściami nieorganicznymi gleby. Aktywność  $^{40}\text{K}$  jest wprost proporcjonalna do całkowitej zawartości potasu w glebie; 1g potasu zawiera zawsze  $31,7 \text{ Bq K}$ . Zróznicowanie aktywności tego radionuklidu praktycznie nie jest związane z wysokością miejsca poboru próbki (Ryc. 5A i B). Stężenie potasu jest porównywalne ze stężeniem tego pierwiastka wyznaczonego dla Pogórza Karpackiego. Maksymalne stężenie  $^{40}\text{K}$  obserwuje się w trzecim profilu glebowym, czyli na głębokości 7–10 cm. Najprawdopodobniej, zawartość potasu w powyższych próbkach ma związek z typem gleby na terenie TPN-u. Gleby tatrzańskie wykazują ścisły związek z górską rzeźbą, podłożem geologicznym, warunkami klimatyczno-roślinnymi, a czasami także z gospodarczą działalnością człowieka.



Ryc. 5. Aktywność naturalnego potasu-40 w trzech warstwach gleby pobranej w regionie (A) Doliny Rybiego Potoku i (B) Doliny Kościeliskiej w zależności od wysokości stanowiska.

#### PODSUMOWANIE

Przedstawione badania wskazują, że w środowisku gleb tatrzańskich obserwuje się obecność radionuklidów naturalnych i sztucznych, zarówno pochodzenia czarnobylskiego, jak i z doświadczeń z bronią jądrową. Zróżnicowane ich stężenie w badanych regionach jest związane z wysokością miejsca, z którego próbki były pobierane, jak i jego formą geologiczną. Duże nagromadzenie sztucznych radionuklidów cezu czy plutonu obserwowano w wierzchnich warstwach gleby (od 0–6 cm) w wysoko zawieszonych bezodpływowych dolinkach lub wypłaszczeniach (powyżej 1200–1300 m). Dalsze badania związane z określeniem zawartości radionuklidów w mchach i liściach borówki mogą pozwolić na określenie wielkości akumulacji radioizotopów w organizmach żywych i potencjalną korelację

między ich obecnością w glebie i w formach roślinnych.

Składam serdeczne podziękowania mojemu koledze dr Jerzemu Wojciechowi Mielkowskiemu za pomoc w realizacji pracy i cenne uwagi.

Praca powstała dzięki życzliwości i pomocy ze strony pierwszego zastępcy Dyrektora Tatrzańskiego Parku Narodowego dr inż. Zbigniewa Krzana.

Praca częściowo była sponsorowana przez Fundację Kościuszkowską, Amerykańskie Centrum dla Polskiej Kultury, funduszem zapewnionym przez Fundację im. Alfreda Jurzykowskiego, oraz grant KBN 3 P04G 063 23 i grant statutowy 11.11.150.84.

#### CONCENTRATION OF RADIONUCLIDES $^{137}\text{Cs}$ , $^{239+240}\text{Pu}$ and $^{40}\text{K}$ IN SOIL SAMPLES FROM SOME REGION OF TATRA'S NATIONAL PARK – PRELIMINARY INVESTIGATION

#### S u m m a r y

Following the Chernobyl catastrophe the natural ecosystem of the Tatra's has been seriously radioactively contaminated. The radioactive  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$  and  $^{241}\text{Am}$  were the artificial radionuclides found in the Park. The  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ -radionuclides were introduced into the natural environ-

ment by nuclear tests conducted in the middle of the 20-th century, and – in 1986 – as a result of the failure of the Chernobyl nuclear reactor. However, some radionuclides (for example  $^{40}\text{K}$ ) are natural isotopes existing since the earth has formed.

#### LITERATURA

- BRODA R., 1987. *Gamma spectroscopy analysis of hot particles from the Chernobyl fallout*. Acta Phys. Pol. B18, 935–950.
- BRODA R., KUBICA B., SZEGŁOWSKI Z., ZUBER K., 1989. *Alpha Emitters in Chernobyl hot particles*. Radiochim. Acta 48, 89–96.
- HRYNKIEWICZ A., 1993. *Dawki i działanie biologiczne promieniowania jonizującego*. PAA, IFJ.
- JARACZ P., PIASECKI E., MIROWSKI S., WILHELMI Z., 1990. *Analysis of Gamma-Radioactivity of "Hot Particles" Released after the Chernobyl Accident*. J. Radioanal. Nucl. Chem. 141, 243–259.

- KRASNOV W. P., 1998. *Radioekologija lisiw Polissja Ukrainy.- Zhytomyr, wyd-wo "Wołyn", 112.*
- KRZAN Z., 1989. *Rozmiary i rozkład przestrzenny zanieczyszczeń powietrza w Tatrzańskim Parku Narodowym. Chrońmy Przyrodę Ojczyzną* 45, 26-33.
- KRZAN Z., 1993. *Tatra, Pieniny, Gorce and Babia Góra National Parks – threats and protection. Parki Narodowe: Tatrzański, Pieniński, Gorceński i Babiogórski – zagrożenia i ochrona. Proc. Intern. Semin. Environmental Protection by the Use of Geothermal Energy. Zakopane-Kościelisko, 13-18 Wrzesień 1993, Technika Poszukiwań Geologicznych, Geosynoptyka i Geotermia* 5-6, 51-58.
- KRZAN Z., SKAWIŃSKI P., 1993. *Prognoza degradacji drzewostanów Tatrzańskiego Parku Narodowego pod wpływem zanieczyszczeń powietrza. Prądnik, Prace i Materiały Muzeum im. Prof. Władysława Szafera*, 7-8, 143-152.
- KUBICA B., MIETELSKI J. W., TOMANKIEWICZ E., JASIŃSKA M., GACA P., KOZAK K., 2001. *Pilotażowe badania zawartości niektórych radionuklidów w próbkach gleby z terenu TPN*, IFJ raport 1873/C.
- KUBICA B., MIETELSKI J. W., GOŁAŚ J., TOMANKIEWICZ E., JASIŃSKA M., GACA P., KOZAK K., TUTEJA-KRYSA M., 2001. *Concentration of radionuclides Cs-137 and K-40 and some heavy metals in soil and lichen samples from Tatra's National Park- preliminary investigation. Międzynarodowa konferencja EUROECO 2001*, 37.
- LILJNZIN J.O., SKALBERG M., PERSSON G., INGEMANSSON T., ARONSSON P. O., 1988. *Analysis of the Fallout in Sweden from Chernoby. Radiochim. Acta* 43, 1-25.
- MATERIAŁY ZJAZDOWE XVI Szkoły Jesiennej PTB Zakopane., 1996. *Czarnobyl – 10 lat później – skutki zdrowotne, skażenia środowiska i żywności*.
- MIECHÓWKA A., MIKOŁAJCZYK J., 1996. *Zawartość metali ciężkich w glebach polany Poroniec. Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego a człowiek, Tom 1, Wpływ człowieka, Kraków-Zakopane.*
- MIETELSKI J.W., DORDA J., WAŚ B., 1999. *Pu-241 in samples of forest soil from Poland. Appl. Radiation and Isotopes* 51, 435-447.
- MIETELSKI J.W., GACA P., ZAGRODZKI P., JASIŃSKA M., ZALEWSKI M., TOMCZAK M., VAJDA N., DUTKIEWICZ E. M., 2001.  *$^{90}\text{Sr}$  and stable strontium in bones of wild, herbivorous animals from Poland, J. Radioanal. Nucl. Chem.* 247, 363-370.
- MIETELSKI J. W., VAJDA N., 1997. *Chernobyl Sr-90 in berries from Poland. J. Radioanal. Nucl. Chem.* 222, 183-187.
- MIETELSKI J.W., 1998. *Transuranic elements and Sr-90 in samples from forests of Poland, a review. Nukleonika* 43, 449-458.
- NYKA J., 1972. *Tatry przewodnik. SiT, W-wa.*
- PIEŃKOWSKI L., JASTRZĘBSKI J., TYS J., BATSCH T., JARACZ P., KURCEWICZ W., MIROWSKI S., SZEFLIŃSKA G., SZEFLIŃSKI Z., SZWERYN B., WILHELMI Z., JÓZEFOWICZ E. T., 1987. *Isotopic Composition of the Radioactive Fallout in Eastern Poland after the Chernobyl Accident. J. Radioanal. Nucl. Chem.* 117, 379-411.
- MIREK Z. (red.), 1996. *Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego. Tatrzański Park Narodowy, Kraków-Zakopane.*
- RAPORT: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), 1977. *Ionizing Radiation Sources and Biological Effects. Report to the General Assembly with annexes, UN. Pub., New York.*
- RAPORT: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA), 1991. *The International Chernobyl Project: Technical Report and Surface Contamination Maps; IAEA Press, Vienna.*
- SKIBA., 1996. *Gleby. [W:] Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego. MIREK Z. (red.). Tatrzański Park Narodowy, Kraków-Zakopane*, 215-226.
- STRZELECKI R., WÓLKOWICZ S., SZEWCZYK J., LEWANDOWSKI P., 1993. *Radioecological Maps of Poland. Part I, PIG, Warsaw.*