

Autoreferat

1. Imię i nazwisko

Zbigniew Ziembik

2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

Tytuł zawodowy magistra chemii uzyskałem w Wyższej Szkole Pedagogicznej w Opolu (obecnie Uniwersytet Opolski), na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii w 1986 r.

Stopień naukowy doktora fizyki uzyskałem na Wydziale Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej w 1996 r. Tytuł pracy doktorskiej: „Właściwości elektryczne układów przewodnik – matryca nieprzewodząca”.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

Pracę w ówczesnej Wyższej Szkole Pedagogicznej w Opolu (obecnie Uniwersytecie Opolskim), na wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii podjąłem w 1986 r., zaraz po uzyskaniu tytułu magistra chemii. Od 1997 r., po uzyskaniu stopnia doktora nauk fizycznych, byłem zatrudniony na stanowisku adiunkta, najpierw w Instytucie Chemii, następnie w Katedrze Technologii, a od 2006 r., tj. od czasu utworzenia, w Katedrze Biotechnologii i Biologii Molekularnej Uniwersytetu Opolskiego. Od roku 2012 jestem zatrudniony w Samodzielnej Katedrze Biotechnologii i Biologii Molekularnej na stanowisku starszego wykładowcy.

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.)

Podstawą do ubiegania się o uzyskanie stopnia naukowego doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska jest monografia:

Z. Ziembik „Wykorzystanie metod statystycznych do opisu akumulacji ^{137}Cs
w glebach leśnych”

Studia i monografie nr 495, Wydawnictwo Uniwersytetu Opolskiego, Opole 2013,

w której zamieściłem i omówiłem wyniki moich badań prowadzonych od 2006 r. (zał. 3, poz. 15, 16, 18, 20, 26).

Dzięki rozwojowi nauki i techniki w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat ludzkość wykształciła umiejętność celowego wykorzystywania izotopów promieniotwórczych do zaspokajania różnych swoich potrzeb. Opanowano technologie, których celem (lub skutkiem ubocznym) jest silne

zagęszczanie występujących w przyrodzie nuklidów promieniotwórczych, a także wytwarzanie nowych izotopów, niewystępujących naturalnie na Ziemi. W związku z tym wzrosło ryzyko przenikania do środowiska materiałów radioaktywnych w ilościach na tyle dużych, że odpowiednie mechanizmy obronne organizmów żywych okażą się nieskuteczne w usuwaniu szkodliwych skutków działania promieniowania.

Niezależnie od tego czy uwolnienie materiałów promieniotwórczych miałooby charakter celowy, czy przypadkowy, w środowisku lądowym trafiają one do gleby. Można oczekiwać, że dalsze losy tych substancji zależą od dużej liczby różnych czynników, w tym od właściwości gleby i od właściwości samego materiału promieniotwórczego. Istotna jest możliwość oceny przenikania tych substancji do innych składników biosfery, np. poprzez kolejne ogniwa łańcucha pokarmowego.

Pomiary zawartości radioaktywnych izotopów pierwiastków w glebie leśnej mogą być cennym źródłem informacji o promieniotwórczym skażeniu badanego obszaru. Jednak ze względu na znaczną złożoność i różnorodność środowisk glebowych, jakościowe oraz ilościowe określenie skażenia materiałami radioaktywnymi może być obciążone znaczną niepewnością. Z tego względu konieczne jest poznanie mechanizmów wpływających na przemieszczanie się radionuklidów w glebie, a także parametrów statystycznych takiego opisu. Wykonanie pomiarów i zastosowanie odpowiednich metod statystycznych do interpretacji ich wyników może ujawnić istotne cechy pojawiających się w strukturach danych. Powinny być one uwzględniane w rozważaniach dotyczących np. dawek promieniowania, źródeł zanieczyszczeń, obiegu pierwiastków w biosferze itp. Niezbędne jest także zbadanie wpływu właściwości fizycznych i chemicznych gleby na kumulację związków chemicznych, których składnikami są nuklidy promieniotwórcze. Wyniki takich badań znacznie ułatwią ocenę rozprzestrzeniania substancji radioaktywnych w glebie, ich przenikania do łańcuchów pokarmowych oraz ocenę zagrożenia, jakie stanowią dla organizmów zasiedlających określony obszar. Możliwa będzie także lepsza ocena dróg rozprzestrzeniania się skażonego materiału, a także usprawnienie technologii usuwania substancji promieniotwórczych ze środowiska, np. za pomocą fitoremediacji.

Jednym z syntetycznych izotopów promieniotwórczych, jaki pojawił się w środowisku w drugiej połowie XX w., jest ^{137}Cs . Radionuklid ten powstaje w wyniku reakcji zachodzących w czasie wybuchu ładunku jądowego, a także pojawia się jako jeden z produktów powstających podczas pracy reaktora jądowego. Jedną z cech charakterystycznych tego izotopu jest stosunkowo długi, wynoszący nieco ponad 30 lat, okres połowicznego rozpadu. Jego obecność w środowisku i zagrożenia z nim związane mogą trwać wiele lat. Ze względu na swoje właściwości izotop ^{137}Cs stał się przedmiotem moich badań. Analizowałem wyniki pomiarów aktywności izotopu ^{137}Cs w próbkach gleby zebranych w lasach południowo-zachodniej Polski, na terenach tzw. Anomalii

Umm

Opolskiej. Jest to obszar, na którym opad materiału radioaktywnego po awarii w elektrowni jądrowej w Czarnobylu był wyjątkowo intensywny.

Moje badania miały dwa główne cele. Pierwszym z nich było znalezienie powiązań pomiędzy zawartością ^{137}Cs w poziomach genetycznych gleby z ich podstawowymi właściwościami fizykochemicznymi. Zaobserwowane związki posłużyły do konstrukcji możliwie prostych opisów tych zależności. W kolejnych etapach pracy oceniłem poprawność i właściwości statystyczne otrzymanych modeli. Drugim celem było znalezienie i opisanie związków pomiędzy zawartościami ^{137}Cs w różnych poziomach genetycznych gleby. Zastosowałem metody, które były słabo ograniczone założeniami wstępnymi, mogącymi istotnie zmniejszyć zakres rozpatrywanych sformułowań opisu. Oba zadania zrealizowano, wykorzystując takie sposoby opisu, które wcześniej nie były do tych celów wykorzystywane. Dzięki temu otrzymano wiele nowych, wcześniej nieznanych informacji dotyczących rozkładu i transportu ^{137}Cs w glebie leśnej.

W pierwszym etapie badań przeanalizowałem dane pomiarowe opisujące aktywności ^{137}Cs w próbkach profili glebowych. Badałem związki aktywności radiocezu w profilu glebowym z jego właściwościami fizykochemicznymi. Wstępne informacje o tych związkach uzyskałem dzięki analizie wartości odpowiednich współczynników korelacji i determinacji. Wyniki obliczeń pokazały, że niektóre parametry fizykochemiczne całkiem dobrze wyjaśniają zmienność aktywności ^{137}Cs w poziomach genetycznych.

W kolejnym etapie badań wykorzystałem wartości względnej aktywności ^{137}Cs w poziomach genetycznych. Względna aktywność była obliczana jako stosunek aktywności w określonym poziomie do sumy aktywności w poziomach całego profilu. Analizę związków pomiędzy względną aktywnością ^{137}Cs i właściwościami fizykochemicznymi poziomu genetycznego wykonałem na podstawie modelu wielorakiej regresji liniowej. Przed obliczeniem wartości parametrów strukturalnych modelu zbadałem rozkłady zmiennych wykorzystanych do jego konstrukcji. Okazało się, że rozkłady zmiennych różnią się, niekiedy znacznie, pomiędzy sobą. Ponieważ cecha ta może utrudnić zastosowanie liniowego modelu zależności, zmienne przekształcono za pomocą transformacji Box-Coxa. W wyniku przekształcenia otrzymano nowe zmienne, o jednomodalnych i dosyć symetrycznych rozkładach.

Należało spodziewać się, że do opisu aktywności ^{137}Cs w określonym poziomie będą potrzebne tylko niektóre zmienne określone przez parametry fizykochemiczne. Wyboru zmiennych wyjaśniających, które są istotne w modelu, dokonałem z wykorzystaniem kryterium Akaike, AIC. Okazało się, że zmienność względnej aktywności w poziomie glebowym może być opisana pewną liczbą parametrów fizykochemicznych, mniejszą od maksymalnej wynoszącej siedem. Badania otrzymanych modeli wykazały istnienie korelacji pomiędzy niektórymi zmiennymi wyjaśniającymi.

Aby ocenić wpływ tej korelacji na poprawność opisu modelowego, obliczyłem wskaźniki *VIF* parametrów strukturalnych, związanych z odpowiednimi zmiennymi. Okazało się, że korelacje nie miały istotnego wpływu na kształt modelu i wszystkie zmienne wybrane na podstawie *AIC* powinny być uwzględniane w opisie.

Za pomocą odpowiednich testów zbadałem istnienie w danych takich punktów, które istotnie wpływających na wartości parametrów strukturalnych. Nie stwierdziłem, aby którykolwiek z punktów pomiarowych wykorzystanych do konstrukcji modelu miał fundamentalny wpływ na jego postać.

W poziomie butwinowym Of stwierdziłem brak związku pomiędzy parametrami fizykochemicznymi i względną aktywnością ^{137}Cs . W celu uzyskania większej ilości informacji o relacjach między zmiennymi, za pomocą analizy wiązkowej zbadałem tendencje formowania grup punktów reprezentujących wartości mierzonych parametrów. Nie zaobserwowałem wyraźnego grupowania się tych punktów, wskazującego na możliwość wyróżnienia pewnych klastrów danych. Współzmiennność pomiędzy parametrami oceniłem za pomocą metody analizy głównych składowych. Chociaż zaobserwowałem istnienie pewnych zależności pomiędzy niektórymi parametrami fizykochemicznymi, to jednak żaden z nich nie był istotnie powiązany ze względną aktywnością ^{137}Cs .

Wykorzystując metody statystyczne przystosowane do analizy zmiennych złożonych, sformułowałem opis kumulacji ^{137}Cs w warstwach gleby z pominięciem ich właściwości fizykochemicznych. Zignorowanie właściwości charakterystycznych dla określonego poziomu genetycznego nie spowodowało całkowitej utraty możliwości opisu relacji pomiędzy wyróżnionymi warstwami gleby. Zastosowanie odpowiednich metod obliczeniowych wykazało istnienie współzależności pomiędzy względnymi aktywnościami ^{137}Cs w różnych warstwach gleby. Zależności pojawiały się nie tylko pomiędzy sąsiednimi warstwami, ale także pomiędzy tymi, które nie miały bezpośredniego kontaktu ze sobą. Otrzymane wyniki sugerują istnienie równowagi termodynamicznej ze względu na cez występujący w wierzchnich warstwach gleby, zawierających dużo materii organicznej. Zaobserwowano także brak takiej równowagi, a jednocześnie działanie liniowego mechanizmu regulującego przepływ cezu pomiędzy warstwami powierzchniowymi i leżącymi głębiej.

Opisane wyniki obliczeń umożliwiają przewidywanie akumulacji ^{137}Cs w poziomach genetycznych gleby. Na podstawie znanych parametrów fizykochemicznych można, w pewnym zakresie, przewidzieć akumulację ^{137}Cs w glebie. W razie uwolnienia tego radionuklidu do środowiska możliwe staje się podjęcie odpowiednich zabiegów ograniczających jego rozprzestrzenianie się i przenikanie do łańcuchów pokarmowych. Zabiegi te mogą np. obejmować

modyfikację parametrów fizykochemicznych gleby w taki sposób, aby ^{137}Cs szybko przeniknął do głębszych jej warstw i tam został związany w trwałej postaci, co zapobiegłoby przenikaniu tego radionuklidu do wód gruntowych i łańcuchów pokarmowych. Pewne zmiany właściwości fizykochemicznych mogą także ułatwić zastosowanie metod biologicznych do usuwania ^{137}Cs z gleby. Można podjąć próbę zwiększenia pochłaniania tego radionuklidu przez rośliny użyte do fitoremediacji lub tak dobrać ich gatunki, aby systemy korzeniowe pobierały wodę z najbardziej skażonych warstw gleby.

Gleba może być także przydatna do szybkiej oceny całkowitej ilości materiału promieniotwórczego, który pojawił się w środowisku. Ponieważ akumulacja ^{137}Cs w poziomie butwinowym nie zależy od jego parametrów fizykochemicznych, to aktywność radiocezu w tym właśnie poziomie najlepiej nadaje się do takiej oceny.

Problemem, który może utrudniać porównanie skażenia odległych od siebie obszarów, są różne rodzaje występujących gleb, a także niekompletność próbek profili glebowych. Jednak dzięki wiedzy o relacjach pomiędzy aktywnościami ^{137}Cs w kolejnych warstwach gleby, niezależnych od jej rodzaju, można porównywać ze sobą skażenia różnych regionów także wtedy, kiedy dostępne są tylko niekompletne próbki profili glebowych.

Opisane modele mogą być wykorzystane w monitoringu skażeń promieniotwórczych, w badaniach obiegu pierwiastków w biosferze, a także w opisie migracji różnych innych zanieczyszczeń. Należy uznać, że celowe jest prowadzenie dalszych badań, których wyniki pomogą dokładniej opisać kumulację ^{137}Cs w poziomach genetycznych. Dotychczas uzyskane rezultaty preferują jednak kierunek poszukiwań modeli o charakterze empirycznym, a nie takich, które opierają się w znacznym stopniu na znajomości procesów fizykochemicznych zachodzących w poziomie genetycznym. Takie podejście oczywiście nie zmniejsza znaczenia badań związków pomiędzy kumulacją ^{137}Cs a innymi, dotychczas nieuwzględnianymi w modelach, parametrami fizykochemicznymi gleby.

5. Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze

W pierwszym okresie mojego zatrudnienia w ówczesnej Wyższej Szkole Pedagogicznej w Opolu realizowałem badania, które były kontynuacją opisanych w mojej pracy magisterskiej. Pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Witolda Waclawka i dr inż. Marii Ząbkowskiej-Waclawek prowadziłem badania właściwości elektrycznych i termoelektrycznych kompozytowych materiałów organicznych. Obiektem moich badań były kompozyty złożone z polikrystalicznej ftalocyjaniny miedzi i różnych rodzajów sadz technicznych. Ze względu na swoje cechy materiały te mogły być wykorzystane do wytwarzania kompozytów posiadających właściwości pożądane w wielu zastosowaniach. Ftalocyjanina miedzi jest makrocyclicznym związkiem kompleksowym mało

Ulu

wrażliwym na działanie czynników chemicznych i charakteryzującym się znaczną odpornością na wysoką temperaturę. Ze względu na swe właściwości elektryczne jest zaliczana do półprzewodników molekularnych. Sadza techniczna jest produktem niepełnego, kontrolowanego spalania związków organicznych. Charakteryzuje się znacznie wyższą, w porównaniu do ftalocyjaniny miedzi, przewodnością elektryczną. Głównym celem tych badań było poznanie mechanizmu przenoszenia ładunku w tych materiałach. Uzyskana wiedza była pomocna zarówno w opisie zachodzących zjawisk, jak i w konstrukcji różnego rodzaju urządzeń technicznych.

Wykonałem szereg pomiarów zależności przewodności elektrycznej σ od składu f kompozytów, zawierających różne rodzaje sadz technicznych. Podjąłem próbę powiązania otrzymanych wyników z przewidywaniami opisanymi w literaturze modeli teoretycznych Yoshidy i McLachlana, a także teorii perkolacji. Wykazałem, że modele te dla większości kompozytów dobrze opisują wyniki pomiarów.

Zaobserwowałem także związki pomiędzy parametrami fizykochemicznymi badanych sadz technicznych i parametrami uzyskanymi z modeli teoretycznych. W celu jakościowego wyjaśnienia tego zjawiska zaproponowałem model kompozytu trójskładnikowego, w którym trzecia faza pojawia się jako wynik wzajemnego oddziaływania dwóch głównych składników. Jej zawartość w materiale oraz wpływ na przewodność byłyby uzależnione od składu i struktur głównych faz tworzących kompozyt.

Badałem także wpływ temperatury na przewodność elektryczną kompozytów o różnych składach. Praktycznie niezmienną się energią aktywacji termicznej przewodnictwa E_a wskazywała, że za przenoszenie ładunku w kompozytach zawierających więcej niż progowy ułamek fazy przewodzącej odpowiedzialna jest przede wszystkim sieć utworzona przez sadzę. Zmniejszanie zawartości fazy przewodzącej w kompozycie wywołuje, początkowo dopiero po przekroczeniu pewnej temperatury, zaangażowanie dodatkowego mechanizmu transportu w przenoszenie ładunku. Wzrost energii aktywacji przewodnictwa fazy nisko przewodzącej tuż za przypuszczalnym progiem perkolacji powyżej wartości znalezionej dla czystej ftalocyjaniny miedzi wskazywał na znaczną zmianę właściwości tego materiału w obszarach bezpośrednio związanych z przenoszeniem ładunku. Opisane zjawisko wskazują na poprawność wspomnianego wcześniej jakościowego wyjaśnienia właściwości elektrycznych kompozytu dwuskładnikowego z wykorzystaniem hipotetycznej trzeciej fazy.

Wykorzystując wielomian do interpolacji przebiegu zależności $\sigma(f)$ w pobliżu progu perkolacji obliczyłem wartości f_c dla różnych temperatur. Stwierdziłem, że ze zmniejszaniem się f_c wraz ze wzrostem temp. odpowiada nie tylko zmiana objętościowego składu materiału, ale także inne

Ulu

zjawiska (np. takie, które prowadzą do powstania wspomnianej już „trzeciej fazy”). Otrzymane wyniki umożliwiły zaproponowanie opartego na teorii perkolacji ilościowego opisu przewodności elektrycznej kompozytów. Zaprezentowane zależności udziału progowego f_c oraz wykładników t i q od temperatury nie były wcześniej opisane w literaturze.

Badałem także zależność napięcia termoelektrycznego od składu kompozytu. Zgodnie z przewidywaniami zaobserwowałem wzrost napięcia termoelektrycznego wraz ze wzrostem zawartości fazy słabo przewodzącej w kompozycie. Analiza wyników pomiarowych wykazała, że sprawność termoogniwa kompozytowego jest niewielka i maleje wraz ze wzrostem zawartości fazy słabo przewodzącej w kompozycie.

Wyniki przeprowadzonych przeze mnie badań zostały zaprezentowane w 4 publikacjach (zał. 3, poz. 1-3, 12). Badania te były także podstawą mojej pracy doktorskiej.

Badałem także przewodność elektryczną polikrystalicznych ftalocyjanin lantanowców, które mogłyby znaleźć zastosowanie w konstrukcji chemosensorów. Wyniki tych badań zostały opisane w artykułach naukowych (zał. 3, poz. 4-5).

Po uzyskaniu stopnia doktora kontynuowałem badania właściwości elektrycznych i termoelektrycznych kompozytów złożonych z polikrystalicznej ftalocyjaniny miedzi i sadz technicznych. Badałem zjawisko PTC (Positive Thermal Coefficient) polegające na wzroście rezystancji wraz z temperaturą oraz przejścia PTC-NTC (Negative Thermal Coefficient – spadek rezystancji wraz ze wzrostem T), obserwowane w niektórych materiałach kompozytowych złożonych ze składników półprzewodnikowych i półmetalicznych. Część wyników tych badań została opublikowana w artykule naukowym (zał. 3, poz. 28).

Możliwości sterowania właściwościami elektrycznymi kompozytu poprzez zmiany jego składu ilościowego i jakościowego sugerowały możliwość wykorzystania tego rodzaju materiałów do konwersji fotowoltaicznej. Analiza dostępnych informacji wykazała, że budowa kompozytu sprzyja tworzeniu struktur mogących w znacznym stopniu zwiększyć sprawność konwersji fotowoltaicznej. Opanowanie odpowiednich technologii umożliwiłoby konstruowanie wysokosprawnych ogniw fotowoltaicznych, a także selektywnych konwerterów, działających w wąskich zakresach widma światła (zał. 3, poz. 14). W celu weryfikacji tych koncepcji zbudowałem proste ogniwa fotowoltaiczne, których głównym elementem konstrukcyjnym były dwie płytki szklane pokryte przewodzącym, przepuszczalnym dla światła tlenkiem indu i cyny (ITO). Pomiędzy tymi płytkami umieszczałem badany materiał, rozproszony w niewodnym elektrolicie. Elektrolit ten otrzymywałem przez rozpuszczenie I_2 i KI w glikolu etylenowym. Po oświetleniu takiego układu światłem żarówki halogenowej pomiędzy płytkami pojawiał się potencjał elektryczny, sięgający 1 mV. Ogniwa charakteryzowałem poprzez pomiar natężenia

Ulu

i napięcia prądu elektrycznego wytwarzanego przez układ, pod różnymi obciążeniami. Niestety, szacowana sprawność otrzymanych ogniw fotowoltaicznych była niska i prace związane z ich badaniami zostały przerwane.

Obiektem moich badań zostały także kserożele krzemowe domieszkowane ftalocyjaninami metali. Żele krzemowe otrzymuje się w reakcji hydrolizy kwaśnej lub zasadowej alkoksylanów. Po wyschnięciu żel kurczy się, tworząc porowatą strukturę o silnie rozwiniętej powierzchni, zwaną kserożelem. W wyniku połączenia kserożeli i ftalocyjanin powstają materiały o nowych właściwościach, które mogą znaleźć zastosowanie np. w nowych technologiach barwienia. Brałem udział w badaniach wpływu zewnętrznego pola elektrycznego na widmo absorpcyjne w zakresie 400-900 nm domieszkowanych kserożeli krzemowych. Domieszkami były ftalocyjaniny magnezu i prazeodymu. Okazało się, że widma absorpcyjne badanych materiałów zmieniają się w sposób odwracalny wraz ze zmianami zewnętrznego pola elektrycznego. Zauważono, że istnieje pewne napięcie progowe, powyżej którego zmiany w widmie są nieodwracalne (zał. 3, poz. 13).

Badalem wpływ par różnych rozpuszczalników na przewodność elektryczną kserożeli krzemowych. Badania wykazały, że zmiennoprądowa przewodność elektryczna badanych materiałów zależy od obecności par w ich otoczeniu. Zaobserwowałem wpływ polarności cząsteczek par na zmiany mierzonych wartości przewodności, np. wpływ pary wodnej czy par acetonu był znacznie silniejszy od wpływu par benzenu (zał. 2, ad. 12, poz. 1).

Od kilku lat biorę udział w pracach zespołu zajmującego się monitoringiem i biomonitoringiem środowiska. Szczególną uwagę zwróciłem na obecność sztucznych i naturalnych radionuklidów w środowisku, a także w bezpośrednim otoczeniu człowieka. Interpretacje wyników badań zachowania się ^{137}Cs w glebie są podstawą do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego.

Zajmowałem się także interpretacją wyników pomiarów aktywności ^{137}Cs w innych składnikach środowiska. Wykonano szereg pomiarów aktywności ^{137}Cs w mchach (*Pleurozium schreberi*). Ze względu na swoje właściwości mchy należą do grupy roślin chętnie wykorzystywanych w biomonitoringu środowiska. Jednak wpływ na zawartość ^{137}Cs w roślinie, poza ogólną ilością tego radioizotopu w otoczeniu, mogą mieć różne składniki gleby. Ponieważ istnieje znaczna liczba czynników wpływających na zawartość ^{137}Cs w zarówno w glebie, jak i w mchach, zmienność otrzymanych wyników pomiarów jest zwykle znaczna. Zmienność ta, poza niepewnościami pomiarowymi, jest wywoływana czynnikami, które nie są w doświadczeniu kontrolowane. Także oznaczenie parametrów fizykochemicznych charakteryzujących glebę jest obarczone istotnymi niepewnościami. Ze względu na wymienione przyczyny badanie wpływu określonego parametru na akumulację ^{137}Cs w roślinie jest znacznie utrudnione. Takie badanie znacznie ułatwia zastosowanie do analizy wyników pomiarów tzw. odpornych metod statystycznych. Pozwalają one

Ulu

na ograniczenie wpływu na wyniki obliczeń pomiarów odstających, a także ich identyfikację. Wnioski wyciągnięte z takich wyników należy uznać za bardziej wiarygodne niż te, których podstawą są metody klasyczne.

Przeprowadzona analiza wyników obliczeń pokazała, że największy wkład w ogólną zawartość ^{137}Cs w środowisku wносиła gleba, chociaż zawartość tego radioizotopu była większa w porostach. Mała zawartość potasu w glebie sprzyjała przenoszeniu ^{137}Cs do porostów. Także zawartość glebowej materii organicznej miała wpływ na przemieszczanie się ^{137}Cs pomiędzy glebą i mchem (zał. 3 poz. 22).

Badane były także zależności pomiędzy zawartościami różnych, naturalnych i sztucznych, radioizotopów w mchach (*Pleurozium schreberi*). W próbkach roślin zostały zmierzone aktywności ^{137}Cs , ^{40}K , ^{214}Bi , ^{210}Pb , ^{235}U i ^{231}Th . Do analizy wyników pomiarowych wykorzystałem metody zaprojektowane do badania zmiennych złożonych. Analiza otrzymanych wyników pokazała brak równowagi promieniotwórczej pomiędzy izotopami pochodzącymi z tego samego szeregu promieniotwórczego, a także brak wzajemnych zależności pomiędzy stężeniami wszystkich radionuklidów. Można przypuszczać, że na skład radionuklidów w mchach mają wpływ nie tylko ich zawartości w opadającym pyłe, ale istotne są też właściwości chemiczne związków, w których występują.

Zmiany zawartości radionuklidów w mchach sugerują istnienie dwóch podstawowych rodzajów mechanizmu tych procesów. Jeden z nich powoduje proces wzbogacenia/zubożenia wspólny dla dwóch radioizotopów, w którego wyniku zachowany jest ich stosunek stężeń. Drugi z nich, zachodzący pod wpływem tych samych czynników, także powoduje zmiany stężenia radionuklidów, ale zachodzące z różnymi szybkościami (zał. 3, poz. 24).

Wykonano badania, których celem było porównanie zawartości ^{137}Cs w 3 gatunkach roślin należących do 3 różnych gromad, zebranych na tych samych obszarach i ocena zgodności otrzymanych wyników. Do badań wybrano mchy (*Pleurozium schreberi*), porosty (*Hypogymnia physodes*) oraz korzenie i pędy wraz z liśćmi borówki czarnej (*Vaccinium myrtillus L.*).

Otrzymane wyniki pomiarów transformowałem tak, aby umożliwić analizę zmiennych złożonych za pomocą standardowych metod. Za pomocą jednokierunkowej analizy wariancji wykazałem, że transformowane stężenia ^{137}Cs otrzymane dla różnych roślin nie różnią się istotnie pomiędzy sobą. Ten wniosek sugeruje, że można porównywać skażenia różnych obszarów posługując się różnymi gatunkami roślin (zał. 3, poz. 11).

Brałem udział w badaniach przestrzennego rozkładu ^{137}Cs na terenach tzw. Anomalii Opolskiej. Jest to obszar, na którym opad materiału radioaktywnego po awarii w elektrowni jądrowej w Czarnobylu był wyjątkowo intensywny. Anomalia swoim zasięgiem obejmuje północno-

Uem

wschodnią, centralną i południowo-zachodnią część województwa opolskiego, rozciągając się dalej na czeskie Morawy i w kierunku Hradca Králové (CZ). Rozkład geograficzny aktywności ^{137}Cs w powierzchniowych warstwach gleby wskazuje, że skażenia tym radionuklidem są nierównomierne na tym terenie (zał. 3, poz. 6). Wynika to przede wszystkim ze skomplikowanych dróg przenoszenia się mas skażonego powietrza oraz występowania lokalnych opadów deszczu krótko po awarii w Czarnobylu. Zachodząca w ciągu ostatnich dziesięcioleci redystrybucja materiału glebowego wywołana erozją i innymi zjawiskami, mogła także wpływać na rozkład aktywności ^{137}Cs na tym obszarze. Kolejną przyczyną różnej aktywności ^{137}Cs w powierzchniowych warstwach gleby może być translokacja tego radionuklidu wywołana przez organizmy żywe. Przeprowadzone badania i analiza ich wyników potwierdziły związek pomiędzy skażeniem powierzchniowych warstw gleby i zawartością ^{137}Cs w mchach i porostach (zał. 3, poz. 9).

Izotop ^{222}Rn jest jednym z najważniejszych, naturalnych źródeł promieniowania jonizującego w otoczeniu człowieka. Ze względu na swój gazowy stan skupienia może on łatwo przenikać do wnętrza ciała wraz z wdychanym powietrzem, stwarzając realne zagrożenie dla zdrowia. Przeprowadzono badania aktywności tego radionuklidu w pomieszczeniach mieszkalnych i użytkowych budynków mieszkalnych. Do badań wybrano około 50-letnie budynki, zlokalizowane w północno-zachodniej części Opola. Do oceny aktywności ^{222}Rn wykorzystano śladowe detektory pasywne LR-15 (Kodak), które rozmieszczono w różnych pomieszczeniach. Po 3 miesiącach ekspozycji klisze były poddawane obróbce chemicznej, a następnie z wykorzystaniem mikroskopu optycznego, zliczano widoczne ślady rozpadu ^{222}Rn . Liczbę tych śladów przypadającą na jednostkę powierzchni kliszy przeliczano na aktywność właściwą ^{222}Rn . Wyniki obliczeń pokazały, że aktywności radonu w piwnicach, kuchniach, łazienkach i pokojach mieszkalnych były podobne. W celu potwierdzenia tego spostrzeżenia wykonałem analizę statystyczną otrzymanych wyników pomiarów. Ponieważ rozkład aktywności radonu znacznie odbiegał od normalnego, obliczenia wykonałem na dwa sposoby. Pierwszy z polegał na porównaniu aktywności w różnych pomieszczeniach za pomocą nieparametrycznego testu Wilcoxona dla dwóch próbek. Drugi sposób polegał na przekształceniu wyników za pomocą transformacji Box-Coxa, a następnie porównaniu otrzymanych wartości za pomocą testu zmiennych połączonych.

Wykorzystanie obu metod doprowadziło do podobnych wniosków. Praktycznie nie wykazano wpływu rodzaju pomieszczenia na aktywność radonu, chociaż test zmiennych połączonych pokazał istotną różnicę aktywności pomiędzy kuchnią i łazienką (zał. 3, poz. 10).

Badania aktywności ^{222}Rn miały także charakter naukowo-dydaktyczny. We współpracy z nauczycielem i uczniami z Gimnazjum w Strzeleckach oceniono aktywność ^{222}Rn w domach mieszkalnych zlokalizowanych na terenie gminy. Podobnie jak dla wyników pomiarów opisanych

wcześniej, rozkład aktywności radonu znacznie odbiegał od normalnego. Przed statystyczną analizą tych wyników przekształciłem je za pomocą transformacji Box-Coxa. Wyniki obliczeń pokazały, że największy wpływ na aktywności radonu w badanych mieszkaniach miała pora roku, co najprawdopodobniej wynika ze zróżnicowanego sposobu ogrzewania i wentylacji mieszkań. Nie zaobserwowałem istotnych różnic w aktywności radonu w łazienkach i kuchniach, ale w piwnicach aktywność ta była znacząco większa (zał. 3, poz. 17).

Jednym z istotnych problemów ochrony przed promieniowaniem jonizującym jest bezpieczeństwo żywności. Wykazano, że niektóre grzyby jadalne mogą kumulować pewne radionuklidy, zwłaszcza sztuczny ^{137}Cs i naturalny ^{40}K . Można oczekiwać, że taka kumulacja będzie zależeć m.in. od zawartości w owocniku grzyba innych metali, zwłaszcza alkalicznych. W celu zbadania tych zależności w próbkach podgrzybka brunatnego (*Xerocomus badius*) oznaczono stężenia ^{137}Cs , K, Mg i Ca. Do oceny zależności pomiędzy zawartościami tych metali zastosowałem metody statystyczne zaprojektowane do analizy zmiennych złożonych. Nie znalazłem wiarygodnych relacji pomiędzy stężeniami badanych metali. Jeżeli takie relacje istnieją, to zostały one ukryte przez wpływ lokalnych warunków wzrostu owocnika grzyba lub zmiany tych warunków następujące w kolejnych sezonach wegetacyjnych (zał. 3, poz. 26).

10 lutego 2014

Zbigniew Tiembik