

Krystyna Niesiobędzka*, Elżbieta Krajewska**

**WPŁYW POTASU WYMIENNEGO I ^{40}K NA MIGRACJĘ RADIOCEZU
 ^{137}Cs Z ROZTWORU GLEBOWEGO DO ROŚLINNOŚCI**

**THE INFLUENCE OF EXCHANGEABLE POTASSIUM AND ^{40}K ON
MIGRATION OF RADIOCAESIUM ^{137}Cs FROM SOIL SOLUTION TO
PLANT**

Słowa kluczowe: ^{137}Cs , ^{40}K , potas wymienny, gleby, roślinność, współczynnik transferu.

Key words: ^{137}Cs , ^{40}K , exchangeable potassium, soils, plant, transfer factor.

The aim of the study was to investigate the influence of exchangeable potassium concentrations in soils and ^{40}K activity in plants on migration of radiocaesium ^{137}Cs from soil to plant. Samples of soils and plants (grass) were collected in northeastern Poland three times a year from June 1994 to July 1996. The ^{137}Cs and ^{40}K activity were determined by gamma spectrometry. Physicochemical characteristic of soils (pH, content of organic matter, organic carbon Corg., exchangeable cations concentrations: Caex., Mgex., Naex. and Kex.) were recorded. The mean activity of two radionuclides were quantified on dry weight basis for soil and the measured mean concentrations of ^{137}Cs and ^{40}K in soil samples were: 29.22 Bq/kg, 367.12 Bq/g respectively, whereas in case of plants the mean concentrations were: 4.39 Bq/kg, 833.71 Bq/kg respectively. ^{137}Cs and ^{40}K have similar chemical behavior, the lower values of TF(^{137}Cs) were due to the higher values of TF(^{40}K). Some correlations between the ^{137}Cs activity in plants and the Kex concentrations in soils have been found.

1. WPROWADZENIE

Radionuklid ^{137}Cs jest pierwiastkiem antropogenicznym, który przedostał się do środowiska naturalnego w wyniku przeprowadzonych próbnych wybuchów jądrowych oraz kata-

* Dr Krystyna Niesiobędzka – Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska, ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa; tel.: 22 234 54 23; e-mail: krystyna.niesiobedzka@is.pw.edu.pl

** Dr Elżbieta Krajewska – Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska, ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa; tel.: 22 234 59 53; e-mail: elzbieta.krajewska@is.pw.edu.pl

strof radioekologicznych. Stanowi on szczególnie problem dla środowiska przyrodniczego ze względu na długi okres półrozpadu ($T=30,2$ lat), łatwą migrację w łańcuchach troficznych i dużą dostępność biologiczną.

Rozwijanie i rozszerzanie badań dotyczących skażeń promieniotwórczych poza elementem poznawczym ma duże znaczenie radiologiczne i ekologiczne, a może mieć również znaczenie w diagnozie i prognozowaniu stanu radiologicznego jednego z ważniejszych komponentów środowiska, jakim są gleby. Rozbudowa energetyki atomowej, świadomość potencjalnego zagrożenia, jak również skutki dotychczasowych awarii urządzeń nuklearnych uzasadniają konieczność prowadzenia szeroko zakrojonych badań, dotyczących pierwiastków promieniotwórczych i to nie tylko monitoringowych (wykonywanych najczęściej), ale również kompleksowych z wnikliwą analizą procesów towarzyszących badanemu zagadnieniu.

W radioekologii do określania biodostępności radionuklidów wykorzystuje się tzw. Transfer Factor (współczynnik transferu TF), będący stosunkiem aktywności radionuklidu w roślinności do jego aktywności w glebie [Desmet 1991].

$$TF = \frac{R_i \text{ w roślinie (Bq/kg suchej masy)}}{R_i \text{ w glebie (Bq/kg suchej masy)},$$

gdzie: R_i – aktywność radionuklidu.

W związku z intensyfikacją badań radioekologicznych po roku 1986 (po katastrofie elektrowni jądrowej w Czarnobylu) pojawiło się w literaturze naukowej wiele publikacji dotyczących zachowania się ^{137}Cs w środowisku glebowym i możliwości migracji do roślinności [Bergeijk 1992, Niesiobędzka 1996, Niesiobędzka 2000, Zhiyanski 2005]. Wśród nich są również prace poświęcone badaniu wpływu właściwości gleb na mobilność i biodostępność ^{137}Cs i innych radionuklidów w warunkach naturalnych i seminaturalnych. Duża liczba publikacji przedstawia wyniki specyficznych badań prowadzonych w warunkach symulowanych, np. badania sorpcji i desorpcji cezu w glebach sztucznie skażonych, badania wpływu potasu na biodostępność cezu przez aplikowanie roztworów jonów potasu o różnych stężeniach. Wyniki te są wykorzystywane do opracowania scenariuszy zachowań pierwiastków w ekosystemie glebowym w zależności od wielu czynników i gatunków gleb. Są one bardzo cenne, jednak nie zawsze można je odnieść do naturalnego środowiska glebowego, w którym zachodzą nieustannie różnorodne i często nieprzewidziane procesy.

2. MATERIAŁ I METODY

Zasięg badań obejmował obszary naturalnych gleb (niezaburzonych uprawami rolnymi), leżących w północno-wschodniej Polsce. W większości tereny badawcze należą do ob-

szaru tzw. Zielonych Płuc Polski, gdzie zaczęto rozwijać rolnictwo ekologiczne i produkcję zdrowej żywności. Dużym zainteresowaniem cieszy się również skup ziół, które są stosowane w popularnych mieszankach ziółowych, jak również są eksportowane za granicę. Są to gleby piaszczyste, wykazujące względnie wysokie poziomy koncentracji potasu ^{40}K , który jest podobny pod względem chemicznym i metabolicznym do cezu i może zachowywać się konkurencyjnie w stosunku do ^{137}Cs .

Trzyletnie badania prowadzono od początku maja 1994 r. do października 1996 r., obejmując badaniami trzy okresy wegetacyjne. Łącznie pobrano 108 niezależnych próbek gleb i 108 próbek roślinności trawiastej.

Pobraną glebę (z wierzchniej warstwy 0–10 cm) oraz roślinność trawiastą suszono w temperaturze pokojowej. Wysuszoną glebę przesiewano przez sito o rozmiarze oczek 1 mm w celu usunięcia kamieni i resztek korzeni.

Zakres badań obejmował analizę fizykochemiczną gleb oraz analizę gamma-spektrometryczną gleb i roślinności pod kątem radioaktywności cezu (^{137}Cs) i innych naturalnych pierwiastków promieniotwórczych: ^{228}Ac , ^{214}Tl z szeregu torowego, ^{214}Pb , ^{214}Bi z szeregu uranowego oraz ^{40}K .

W ramach analizy fizykochemicznej oznaczono podstawowe parametry charakteryzujące gleby, m.in. pH, zawartość substancji organicznych, węgiel organiczny utleniały, węglany, zasadowe kationy wymienne (w tym jony wymienne potasu K wym.) oraz kwasowość hydrolytyczną H_n [Niesiołędzka 1997].

3. WYNIKI I DYSKUSJA

Wyniki analizy fizykochemicznej gleb przedstawiono w tabeli 1, z której wynika, że badane gleby wykazywały dość duże zróżnicowane wartości oznaczanych parametrów.

Tabela 1. Charakterystyka fizykochemiczna gleb

Table 1. Physicochemical characteristic of soils

Wartość	Oznaczany parametr								
	pH	sub.org. [%]	C org.utl. [%]	węglany [%]	Ca wym. [cmol(+)/ kg]	Mg wym. [cmol(+)/ kg]	Na wym. [cmol(+)/ kg]	K wym. [cmol(+)/ kg]	Hh [cmol(+)/ kg]
Średnia	6,24	8,24	3,08	1,52	6,75	1,93	0,32	0,28	2,53
Mediana	6,29	8,44	2,95	1,03	5,42	1,48	0,31	0,23	2,48
Minimum	4,74	3,17	1,14	0,10	1,84	0,30	0,16	0,05	0,38
Maksimum	7,92	13,26	5,42	5,20	20,60	6,49	0,58	0,89	9,34
Liczba prób	108	108	108	108	108	108	108	108	108

Wyniki badań dotyczących aktywności radioaktywnego ^{137}Cs oraz ^{40}K w glebach i roślinności oraz wartości współczynników transferu cezu $\text{TF}(^{137}\text{Cs})$ i potasu $\text{TF}(^{40}\text{K})$ zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wartości aktywności Cs-137 i K-40 w glebach i roślinności oraz współczynników transferu TF

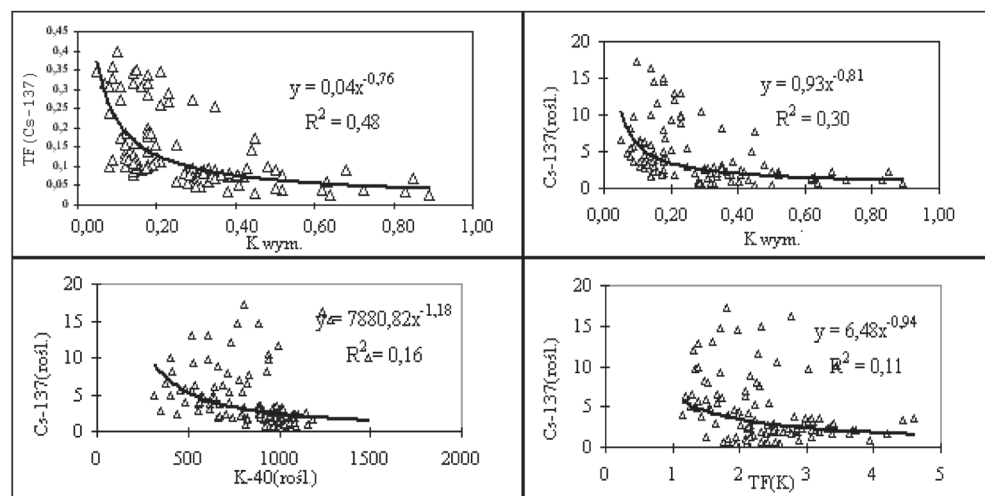
Table 2. Values of Cs-137 and K-40 activities in soils and plant transfer factor TF

Wartość	Radionuklid					
	Cs-137(gl.) [Bq/kg s.m.]	K-40(gl.) [Bq/kg s.m.]	Cs-137(rośl.) [Bq/kg s.m.]	K-40 (rośl.) [Bq/kg s.m.]	TF(Cs-137)	TF(K-40)
Średnia	29,22	367,12	4,39	833,71	0,14	2,37
Mediana	29,12	367,17	2,96	890,78	0,10	2,27
Minimum	5,95	194,91	0,39	316,29	0,03	1,16
Maksimum	59,85	664,01	17,25	1484,83	0,40	4,61
Liczba prób	108	108	108	108	108	108

Tabela 3. Wartości współczynników korelacji

Table 3. Values of Correlation coefficient

Parametr	K wym.	K-40 (rośl.)	TF(K-40)
Cs(rośl.)	-0,427	-0,210	-0,327
TF(Cs)	-0,554	-0,336	-0,340



Rys. 1. Analiza regresji wartości Cs-137 (rośl.), K-40 (rośl.) Kex., TF(Cs-137), TF(K-40)

Fig. 1. Regression analysis of values Cs-137 (plant.), K-40 (plant) Kex., TF(Cs-137), TF(K-40)

Z analizy wyników badań wynika, że na biodostępność radionuklidu ¹³⁷Cs wpływało wiele różnorodnych czynników związanych z właściwościami środowiska glebowego [Niesio-będzka 1997], przy czym na uwagę zasługuje wyraźny wpływ stężenia wymiennych jonów potasu w glebach oraz aktywności ⁴⁰K w roślinności.

Znalezione współzależności wraz z podanymi wartościami współczynników korelacji R przedstawiono w tabeli 3 oraz w sposób graficzny na rysunku 1. Ujemne wartości R wskazują na konkurencyjność potasu w stosunku do radioaktywnego cezu w procesie absorpcji kationowej do roślinności. Kuhn i in. [1984] wykazali również współzależności między biodostępnością ^{137}Cs a stężeniem wymiennych kationów potasu ($R=-0.50$). Są to wartości bardzo zbliżone do wyników uzyskanych w niniejszej pracy. Podobne rezultaty otrzymali Valcke i Cremers [1994], którzy badali procesy sorpcji i desorpcji cezu w glebach organicznych w aspekcie jego dostępności biologicznej. Stwierdzili oni, że w glebach o dużej zawartości substancji organicznej, przy małym wysyceniu kompleksu sorpcyjnego kationami potasu, pojemność sorpcyjna jest związana głównie z materią organiczną, na której zachodzi sorpcja ^{137}Cs o charakterze odwracalnym. W warunkach, kiedy w roztworze glebowym zmniejsza się stężenie jonów cezu, wskutek transportu do roślin, może być ono łatwo i konsekwentnie uzupełniane w dodatkowe jony tego nuklidu ze źródła, jakim jest materia organiczna.

Zwiększenie stężenia wymiennych kationów potasu powoduje również zwiększenie wartości pH, a jednocześnie w związku z chemicznym podobieństwem między cezem i potasem i ich konkurencyjnym oddziaływaniem, wywołuje zmniejszenie wartości $\text{TF}(^{137}\text{Cs})$. Z drugiej strony organiczna materia wiąże jednododatnie jony wodorowe oraz w sposób bardzo nietrwały – jony cezu, które na skutek zmniejszenia wartości pH mogą być łatwo uruchamiane do roztworu glebowego, z którego są pobierane przez roślinność tym intensywniej, im mniej jonów potasowych znajduje się w roztworze gleb. Badane gleby o mniejszych stężeniach wymiennych jonów potasu charakteryzowały największe wartości współczynników transferu cezu do szaty roślinnej. Podobny efekt uzyskali Fredriksson [1970] oraz Kuhn [1984].

Cez i potas wykazują tendencję do adsorpcji w wymiennych miejscach koloidów glebowych. Według Cremersa [1988] istnieją dwa rodzaje miejsc sorpcyjnych w glebach:

- pierwszy o charakterze regularnym (REC-Regular Exchange Complex o małej selektywności w stosunku do cezu) oraz
- drugi o charakterze specyficznym (FES-Frayed Edge Sites o dużej selektywności; związane z postrzępionymi krawędziami niektórych minerałów), wykazujące wysoce selektywną sorpcję w stosunku do słabo hydratowanych jednododatnich kationów.

Cremers stwierdził, że istnienie miejsc REC i FES-zależnych od stosunku substancji mineralnej do organicznej różnicuje gleby pod kątem ich powinowactwa do wiązania jonów cezu. Sweeck, obliczając liczbę miejsc FES w badanej glebie [Sweeck 1990], opracował metodę oceny zdolności tej gleby do zatrzymywania cezu w formie niedostępnej dla roślin, wprowadzając pojęcie tzw. ISPR (Specyficzna Zdolność Przechwytywania Radiocezu).

Cremers próbował wykorzystać tę metodę w badaniach gleb pochodzących z Cumbrii, jednak zbyt rygorystyczne warunki, jakie zaproponował Sweeck, spowodowały, że ta me-

toda nie znalazła szerszego zastosowania w badaniach skażeń gleb i osadów radiocezem wzdłuż wybrzeża Cumbryjskiego.

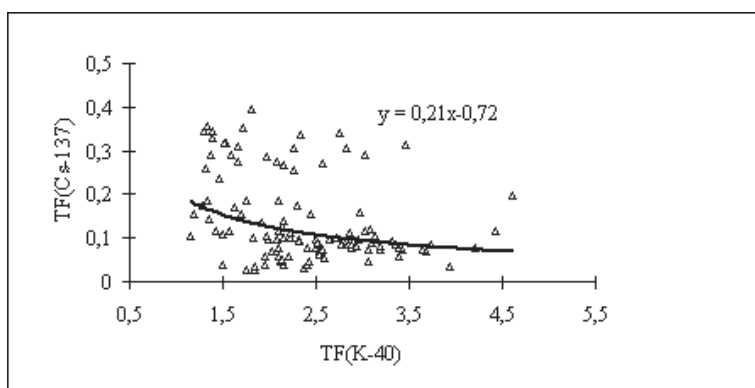
Analiza statystyczna wykazała istnienie współzależności pomiędzy $\text{TF}(^{137}\text{Cs})$ a $\text{TF}(^{40}\text{K})$ ($R=-0.34$). Fakt ten potwierdza konkurencyjny charakter izotopów cezu i potasu w procesie jonowej absorpcji korzeniowej tych pierwiastków przez roślinność. Autorzy innych prac również zwracają uwagę na aspekt współzawodnictwa obu tych pierwiastków w procesie migracji w ekosystemie glebowym [Korobova 2007, Kumar 2008]. Wzrost pobierania ^{40}K przez roślinność powodował zmniejszenie absorpcji jonów cezu z roztworu glebowego do szaty roślinnej. W wyniku analizy statystycznej uzyskanych wyników badań uzyskano równanie typu $Y = aX^b$, opisujące współzależność między wartościami współczynników transferu ^{137}Cs ^{40}K (rys. 2):

$$[\text{TF}(^{137}\text{Cs})] = 0.205 [\text{TF}(^{40}\text{K})]^{-0.717}$$

gdzie:

Y – wartość współczynnika transferu $\text{TF}(^{137}\text{Cs})$,

X – wartość współczynnika transferu $\text{TF}(^{40}\text{K})$.



Rys. 2. Analiza regresji wartości $\text{TF}(\text{Cs-137})$ i $\text{TF}(\text{K-40})$

Fig. 2. Regression analysis of values $\text{TF}(\text{Cs-137})$ and $\text{TF}(\text{K-40})$

4. WNIOSKI

1. Jednym z głównych czynników rządzących transportem ^{137}Cs ze środowiska glebowego do szaty roślinnej jest stężenie składników mineralnych i pierwiastków śladowych w roztworze glebowym obejmującym warstwę korzeniową roślin. Kluczowym współzawodniczącym jonem cezu, zarówno w procesie sorpcji, jak i w przenikaniu do roślin, jest niewątpliwie jon potasu, bardzo zbliżony pod względem fizycznym i chemicznym do radionuklidu cezu.

2. Roślinność w trakcie przyjmowania składników odżywczych z roztworu glebowego nie jest zdolna rozróżnić tych dwóch kationów, co w konsekwencji może prowadzić do zwiększenia przyjmowania jonów cezu przy niedoborze jonów potasowych w roztworze glebowym.
3. Analiza statystyczna wyników badań wykazała również istnienie współzależności między TF(¹³⁷Cs) a TF(⁴⁰K). Fakt ten potwierdza konkurencyjny charakter radioizotopów ¹³⁷Cs i ⁴⁰K w procesie jonowej absorpcji korzeniowej tych pierwiastków w ekosystemie glebowym. Zwiększenie wartości TF(⁴⁰K) implikowało zmniejszenie wartości TF(¹³⁷Cs), co wyrażało się w mniejszych wartościach aktywności ¹³⁷Cs w szacie roślinnej.

PIŚMIENICTWO

- BELLI M., TIKHOMIROV W. 1996. Behaviour of radionuclides in natural and semi-natural environments. European Commission. International scientific collaboration on the consequences of the Chernobyl accident (1991–1995): 61–68.
- BERGEIJK K.E., NORDIJK K., LEMBRECHTS J., FRISSEL M.J. 1992. Influence of pH, soil type and soil organic matter content on soil-to-plant transfer of radiocaesium and radiostrontium as analysed by a nonparametric method. *J. Environ. Rad.* 15: 265–276.
- BOGATOV S.A., BOROVY A.A. 1991. Hot fuel particles from unit 4 and vicinity: research methods and phenomenological description. The radiobiological impact of hot beta particles from the Chernobyl fallout: Risk assessment, Kiev, Ukraine, August. Vienna: IAEA: part II: 1–16.
- CREMERS A., ELSEN A., DE PRETER P., MAES A. 1988. Quantitative analysis of radio-caesium retention in soils. *Nature* 335: 247–249.
- DESMET G.M., VAN LOON L.R. HOWARD B.J. 1991. Chemical speciation and bioavailability of elements in the environment and their relevance to radioecology. *The Science of the Total of Environment* 100: 100–124.
- FREDRIKSSON L. 1970. Plant uptake of fission products. *Lantbruksvetenskapliga Annaler* 36.1: 41–60
- KOROBOVA E. M., BROWN J.B., UKRAINTSEVA N., SURKOV V. 2007. ¹³⁷Cs and ⁴⁰K in the terrestrial vegetation of the Yenisey Estuary: landscape, soil and plant relationships *Journal of Environmental Radioactivity* 96: 144–156.
- KUHN W., HANDL J., SCHULLER P. 1984. The influence of soil parameters on ¹³⁷Cs-uptake by plants from long-term fallout on forest clearings and grassland. *Health Phys.* 46: 1083–1093.
- KUMAR A., SINGHAL R.K., PREETHA J., RUPALI K., NARAYANAN U., SUGHANDHI S., MISHRA M.K., RANADE A.K. 2008. Impact of Tropical Ecosystem on the Migrational Behavior of K-40, Cs-137, Th-232 U-238 in Perennial Plants. *Water Air Soil Pollut.* 192: 293–302.

- NIESIOBĘDZKA K. 1996. The Influence of Soil Parameters on the ^{137}Cs Soil- to-Plant Transfer Factors. Polish Journal of Environmental Studies vol. 5, No 5: 105–109.
- NIESIOBĘDZKA K. 1997. Praca doktorska. Właściwości gleb jako czynniki determinujące migrację radionuklidu cezu Cs^{137} w relacji gleba-szata roślinna na przykładzie obszarów północno-wschodniej Polski. PW. Warszawa: 173.
- NIESIOBĘDZKA K. 2000. Specjacja radionuklidu ^{137}Cs w glebach. Chemia i Inżynieria Ekologiczna. T 7, Nr 3: 237–247.
- SHULLER P., HANDL J., TRUMPER R.E. 1988. Dependence of the ^{137}Cs soil-to-transfer factor on soil parameters. Health Phys. 3: 115–121.
- SWEECK L.J., WAUTERS J., VALCKE E., CREMERS A. 1990. The sensitivity of upland soils to radiocaesium contamination. Proceeding of a CEC workshop, Udine, Italy, September, Elsevier: 249–258.
- VALCKE E., CREMERS A. 1994. Sorption-desorption of radiocaesium in organic mater soil. The Science of the Total Environment 157: 275–283.
- ZHIYANSKI M., SOKOLOVSKA M. LUCOT E., BADOT P.M. 2005. Cs-137 contamination in forest ecosystems in southwest Rila Mountain. Bulgaria. Environ Chem Lett. 3: 49–52.