

**RAPORTY IChTJ. SERIA B nr 1/2020**

**WSTĘPNE WYNIKI OZNACZANIA  
METALI CIĘŻKICH  
W GLEBIE PUSZCZY BIAŁOWIESKIEJ**

**Warszawa 2020**

## **AUTORZY**

Paweł Kalbarczyk, Halina Polkowska-Motrenko, Leon Fuks  
*Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa, Polska*

Evgenij Szavalda, Evgenij Busko  
*Zakład Medycyny Środowiskowej i Radiobiologii, Wydział Medycyny Środowiskowej,  
Międzynarodowy Instytut Środowiska im. Sacharowa, Białoruski Uniwersytet Państwowy,  
Mińsk, Białoruś*

## **WYDAWCA**

Instytut Chemii i Techniki Jądrowej  
ul. Dorodna 16, 03-195 Warszawa  
tel.: 22 811 06 56, fax: 22 811 15 32, e-mail: [sekdyrn@ichtj.waw.pl](mailto:sekdyrn@ichtj.waw.pl)  
[www.ichtj.waw.pl](http://www.ichtj.waw.pl)

*Raport został wydany w postaci otrzymanej od Autorów*

### **Wstępne wyniki oznaczania metali ciężkich w glebie Puszczy Białowieskiej**

Celem pracy było wyznaczenie zawartości metali śladowych w glebach Białowieskiego Parku Narodowego. Próbki pobrano zarówno w jego polskiej, jak i białoruskiej części.

Analiza statystyczna otrzymanych wyników oraz porównanie z danymi uzyskanymi przez Gworek i wsp. dwadzieścia lat temu w polskiej części Białowieskiego Parku Narodowego wykazały, że w okresie tym nie wystąpiła znacząca zmiana w zawartości metali.

### **Preliminary results of the determination of heavy metals in the soil of the Białowieża Forest**

The aim of this work was to determine the content of trace metals in soils of the Białowieża National Park. Samples were collected both in Polish and in Belarusian parts of the Forest.

Statistical analysis of the results and comparison with data obtained by Gworek *et al.* twenty years ago in the Polish part of the Białowieża National Park have revealed that no significant changes in the metal content appeared within this period.



## **SPIS TREŚCI**

<b>1. WSTĘP</b>	<b>7</b>
<b>2. CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA</b>	<b>9</b>
<b>2.1. Pobór próbek</b>	<b>9</b>
<b>2.2. Badania analityczne</b>	<b>11</b>
<b>2.3. Wyniki</b>	<b>12</b>
<b>3. LITERATURA</b>	<b>18</b>



## 1. WSTĘP

Gleby są wieloskładnikowymi mieszaninami minerałów, związków organicznych i organizmów żywych, które w sposób ciągły odpowiadają na naturalne i antropogeniczne czynniki biologiczne, chemiczne i fizyczne. Do najważniejszych funkcji, jakie pełnią gleby w ekosystemach należą: utrzymanie aktywności biologicznej, różnorodności i wydajności systemów, regulacja przepływu wody i substancji w niej rozpuszczonych, filtrowanie, buforowanie, degradacja, unieruchamianie oraz detoksykacja zanieczyszczeń organicznych i nieorganicznych (w tym odpadów przemysłowych i komunalnych oraz depozycji atmosferycznych), magazynowanie składników odżywczych biosfery oraz zapewnianie wsparcia zespołów społeczno-gospodarczych i ochrona obiektów archeologicznych będących efektem działalności ludzkiej.

Ze względu na wyżej wymienione cechy i funkcje gleby monitorowanie stanu jej zanieczyszczeń wydaje się niezbędne, a wyniki tego monitorowania powinny być podstawą podejmowania decyzji dotyczących dalszego wykorzystania badanego obszaru. Najważniejszym elementem w badaniach gleby jest stosowanie oprócz procedur analitycznych wiarygodnych procedur pobierania próbek [1].

Jednym z elementów monitorowania wpływu działalności człowieka na środowisko przyrodnicze jest ocena zawartości metali ciężkich w glebach. Ich zawartość naturalna nie stanowi zagrożenia dla ekosystemów, ale przekroczenie dopuszczalnych norm może być poważnym problemem. Poprzez rośliny jadalne mogą one trafić do organizmów zwierząt i ludzi, a tym samym przyczynić się do wystąpienia wielu chorób, w tym nowotworów. Głównym źródłem powodującym potencjalny wzrost stężenia metali w glebach jest przemysł. Zarówno w Polsce, jak i w Republice Białorusi największe zagrożenie stwarza energetyka oparta na spalaniu węgla kamiennego i brunatnego. Kopalnictwo i hutnictwo rud metali nieżelaznych (miedzi, cynku, ołowiu) przyczynia się do silnego zanieczyszczenia gleb w sąsiedztwie obiektów przemysłowych, jednakże obszar ten jest zazwyczaj dużo mniejszy w porównaniu z działaniem energetyki. Do znacznego zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi dochodzi także w sąsiedztwie szlaków komunikacyjnych. Głównym zanieczyszczeniem jest ołów, który występuje w spalinach samochodowych, jednakże spotkać można także kadm i chrom (zanieczyszczenia powstające w wyniku eksploatacji pojazdów). Z innych źródeł wymienić można liczne materiały zawierające metale ciężkie oraz wyroby z tworzyw sztucznych, stopów metali, powłoki ochronne, farby, lakiery itd.

Metale ciężkie mogą się także dostać do gleby w wyniku mokrych i suchych opadów atmosferycznych. Te drugie wystąpiły na przykład w wyniku awarii elektrowni atomowej w Czarnobylu w postaci skażeń radioaktywnych.

*Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska* [2] wprowadziła pojęcie standardów jakości gleb i ziem. Wartości tych standardów zostały opublikowane w *Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleb oraz standardów jakości ziem* [3] i stanowią punkt odniesienia dla ochrony terenów przed antropogenicznym zanieczyszczeniem (tabela 1).

Rozporządzenie to określa standardy jakości gleby lub ziemi, z uwzględnieniem ich funkcji aktualnej i planowanej, dla następujących grup rodzajów gruntów:

1. Grupa A:
  - a) nieruchomości gruntowe wchodzące w skład obszaru poddanego ochronie na podstawie przepisów ustawy *Prawo wodne*,
  - b) obszary poddane ochronie na podstawie przepisów o ochronie przyrody; jeśli utrzymanie aktualnego poziomu zanieczyszczenia gruntów nie stwarza zagrożenia dla zdrowia ludzi lub środowiska – dla obszarów tych stężenia zachowują standardy wynikające ze stanu faktycznego, z zastrzeżeniem pkt 2 i 3 par. 2 rozporządzenia;
2. Grupa B: grunty zaliczone do użytków rolnych z wyłączeniem gruntów pod stawami i gruntów pod rowami, grunty leśne oraz zadrzewione i zakrzewione, nieużytki, a także grunty zabudowane i zurbanizowane z wyłączeniem terenów przemysłowych, użytków kopalnych oraz terenów komunikacyjnych;
3. Grupa C: tereny przemysłowe, użytki kopalne, tereny komunikacyjne.

Tabela 1. Dopuszczalne wartości stężeń metali w glebie lub ziemi (mg/kg suchej masy) podane w *Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleb oraz standardów jakości ziem* [3].

L.p.	Metale zanieczyszczające	Grupa A	Grupa B					Grupa C		
			Głębokość [m ppz]							
			0-0,3	0,3-15,0		>15		0-2	2-15	
			Wodoprzepuszczalność gruntów [m/s]							
				do	poniżej	do	poniżej		do	poniżej
	1·10 <sup>-7</sup>		1·10 <sup>-7</sup>			1·10 <sup>-7</sup>				
1	Arsen	20	20	20	25	25	55	60	25	100
2	Bar	200	200	250	320	300	650	1000	300	3000
3	Chrom	50	150	150	190	150	380	500	150	800
4	Cyna	20	20	50	50	40	300	350	40	300
5	Cynk	100	300	300	300	300	720	1000	300	3000
6	Kadm	1	4	4	6	4	10	15	6	20
7	Kobalt	20	20	50	60	50	120	200	50	300
8	Miedź	30	150	100	100	100	200	600	200	1000
9	Molibden	10	10	40	40	30	210	250	30	200
10	Nikiel	35	100	100	100	70	210	300	70	500
11	Ołów	50	100	200	200	100	200	600	200	1000
12	Rtęć	0,5	2	5	5	4	10	30	4	50

Ocena zawartości metali ciężkich w glebach i wskazanie ich ewentualnego źródła są szczególnie ważne na obszarach parków narodowych oraz na obszarach z nimi graniczących (tzw. otuliny). Do takich obszarów należy Puszcza Białowieska, podzielona polsko-białoruską granicą państwową. Część położona po polskiej stronie, o powierzchni około 632 km<sup>2</sup>, znajduje się pomiędzy 23°31' a 24°21' długości geograficznej wschodniej oraz między 52°29' i 52°57' szerokości geograficznej północnej. W 1921 r. na terenie polskiej części, położonej w widłach rzek Narewka i Hwoźna, utworzono leśnictwo „Rezerwat”. W 1932 r. przekształcono je w Park Narodowy Białowieży, który od 1947 r. funkcjonuje pod nazwą Białowieżski Park Narodowy. W 1979 r. Obszar Ochrony Ścisłej w Białowieżskim Parku Narodowym wpisano na Listę Światowego Dziedzictwa Kulturalnego i Przyrodniczego Ludzkości UNESCO. Wschodnia część Puszczy Białowieskiej, o powierzchni około 870 km<sup>2</sup>, należy do Republiki Białorusi. Część tę początkowo taktowano jako rezerwat, a w 1957 r. przekształcono w Państwowe Gospodarstwo Rezerwatowo-Łowieckie. We wrześniu 1991 r. nadano jej status Państwowego Parku Narodowego [4].

Obszar Puszczy Białowieskiej to przede wszystkim starogłacjalne wysoczyzny morenowe, które dominowały w przeszłości na nizinach środkowopolskich i północnopodlaskich. Na obszarze Parku zalegają gliny zwałowe oraz piaski i gliny spiaszczone. Spotyka się także piaski drobne i średnie, które powstały w wyniku działania opadów atmosferycznych i wiatru. W dolinach rzek oraz w miejscach dawnych torfowisk wysokich znajdują się utwory pochodzenia organicznego w postaci torfów i murszów. Z tego materiału ukształtowały się gleby brunatne, opadowo-glejowe, płowe, bielcowe, rdzawe, glejbielice, czarne ziemie, a także formy gleb

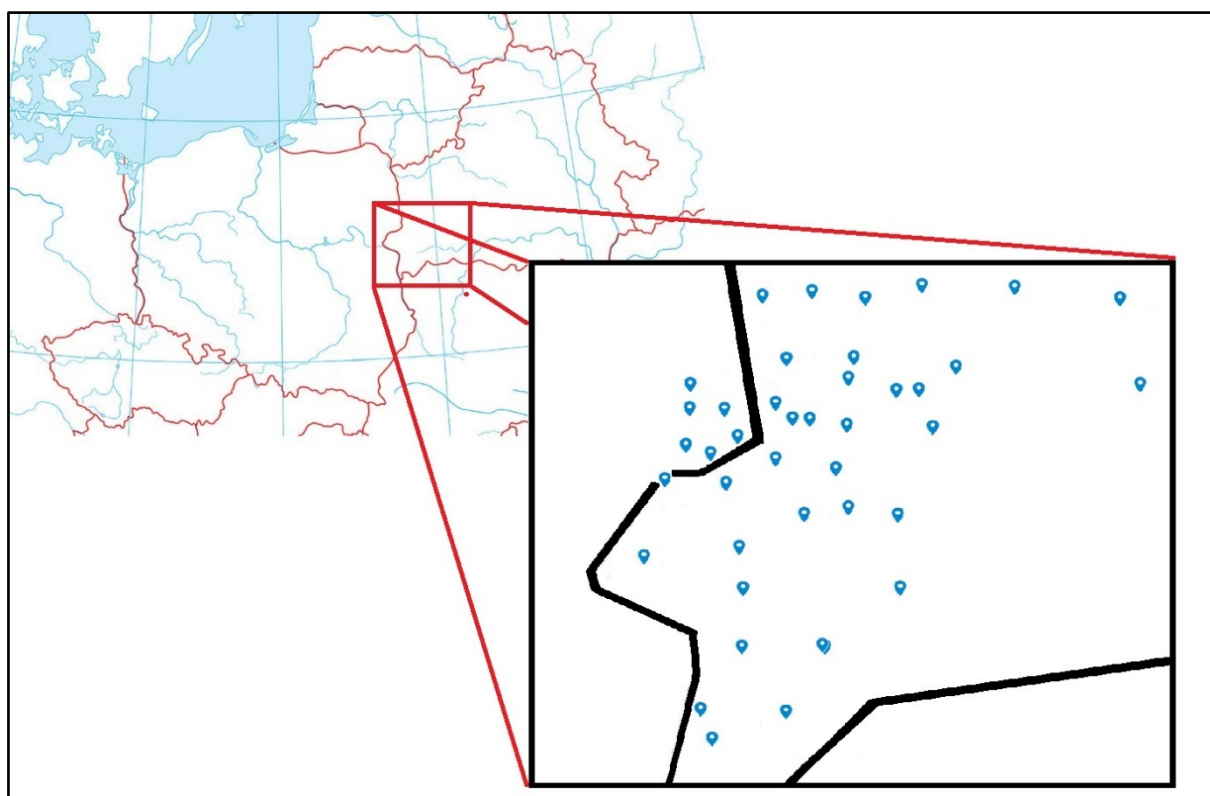


torfowych torfowisk niskich, przejściowych i wysokich. Zatem nie można dziwić się, jeśli zaobserwuje się różnorodność zawartych w glebie metali, nawet przy małej odległości pomiędzy punktami jej poboru. Zgodnie ze wspomnianym wyżej rozporządzeniem [3] glebę Puszczy Białowieskiej należy zaliczyć do grupy B, a pobrane próbki – do kategorii głębokości 0-0,3 m.

## 2. CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

### 2.1. Pobór próbek

Badaniami wykonanymi w ramach umowy zawartej w 2017 r. pomiędzy Instytutem Chemii i Techniki Jądrowej i Międzynarodowym Instytutem Środowiska im. Sacharowa Białoruskiego Uniwersytetu Państwowego w Mińsku objęto cały obszar Puszczy Białowieskiej, zarówno po stronie polskiej, jak i białoruskiej. W tym celu w sierpniu 2019 r. pobrano 6 próbek z obszarów chronionych na terenie Polski oraz 34 z terenów należących do Republiki Białorusi, których lokalizacje przedstawiono na rys. 1 i w tabeli 2.



Rys. 1. Miejsca poboru próbek gleb na obszarze Polski i Białorusi.

Próbki gleby zostały pobrane przez partnerów białoruskich na terenie obu części – polskiej i białoruskiej – Białowieskiego Parku Narodowego w sierpniu 2019 r. zgodnie z wytycznymi Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA) [1]. Spośród kilku metod poboru wybrano metodę systematycznego poboru losowego (ang. *systematic random sampling*) z podziałem obszaru poboru na 6 sektorów kwadratowych. W każdym sektorze w sposób losowy wyznaczono miejsce poboru próbki. Dzięki temu możliwa była identyfikacja sektorów, które (na podstawie analiz wyników laboratoryjnych) mogą wymagać dodatkowego poboru. Odległość między poszczególnymi punktami poboru próbek gleby wahała się od 14 do 18 km, a różnice

Tabela 2. Współrzędne GPS miejsc poboru próbek gleby.

Nr próbki	Współrzędne GPS	
	Długość geograficzna	Szerokość geograficzna
Polska część Puszczy Białowieskiej		
1	N 52°40'28,8"	E 23°50'07,5"
2	N 52°37'42,2"	E 23°43'22,9"
3	N 52°38'51,4"	E 23°36'18,6"
4	N 52°46'15,0"	E 23°37'44,7"
5	N 52°45'37,7"	E 23°46'30,0"
6	N 52°50'15,1"	E 23°37'52,2"
Białoruska część Puszczy Białowieskiej		
2	N 53°07'30,3"	E 24°10'03,7"
3	N 53°06'18,3"	E 24°23'33,2"
4	N 53°08'37,2"	E 24°39'37,1"
5	N 52°51'31,5"	E 24°19'50,2"
6	N 52°48'59,4"	E 24°32'07,1"
7	N 52°54'51,1"	E 24°21'02,0"
8	N 52°54'59,1"	E 24°02'57,1"
9	N 53°06'39,8"	E 23°56'46,2"
10	N 52°43'33,2"	E 24°09'23,3"
11	N 52°42'52,8"	E 24°18'24,2"
12	N 52°46'59,3"	E 23°59'55,7"
13	N 52°44'13,1"	E 24°05'09,1"
14	N 52°31'59,3"	E 23°47'17,5"
15	N 52°49'23,7"	E 23°97'41,1"
16	N 52°26'14,9"	E 24°07'08,6"
17	N 52°35'01,4"	E 24°15'33,2"
18	N 52°37'31,3"	E 23°59'09,8"
19	N 52°42'58,9"	E 24°42'31,0"
20	N 52°53'42,5"	E 24°48'17,1"
22	N 52°20'13,7"	E 23°51'07,9"
23	N 52°18'08,8"	E 23°25'17,8"
24	N 52°12'11,3"	E 23°52'45,3"
25	N 52°25'31,9"	E 24°33'12,2"
26	N 52°12'25,5"	E 24°33'15,1"
30	N 53°07'47,8"	E 25°04'08,4"
31	N 53°05'47,9"	E 25°31'28,8"
32	N 52°32'34,7"	E 23°30'55,9"
33	N 52°01'00,5"	E 23°51'25,6"
34	N 51°49'05,6"	E 23°40'21,8"
35	N 51°43'31,8"	E 23°43'03,6"
36	N 51°48'43,3"	E 24°03'09,8"
37	N 52°01'00,1"	E 24°13'24,8"
38	N 52°01'19,5"	E 24°12'52,9"
39	N 52°27'29,1"	E 24°19'36,1"

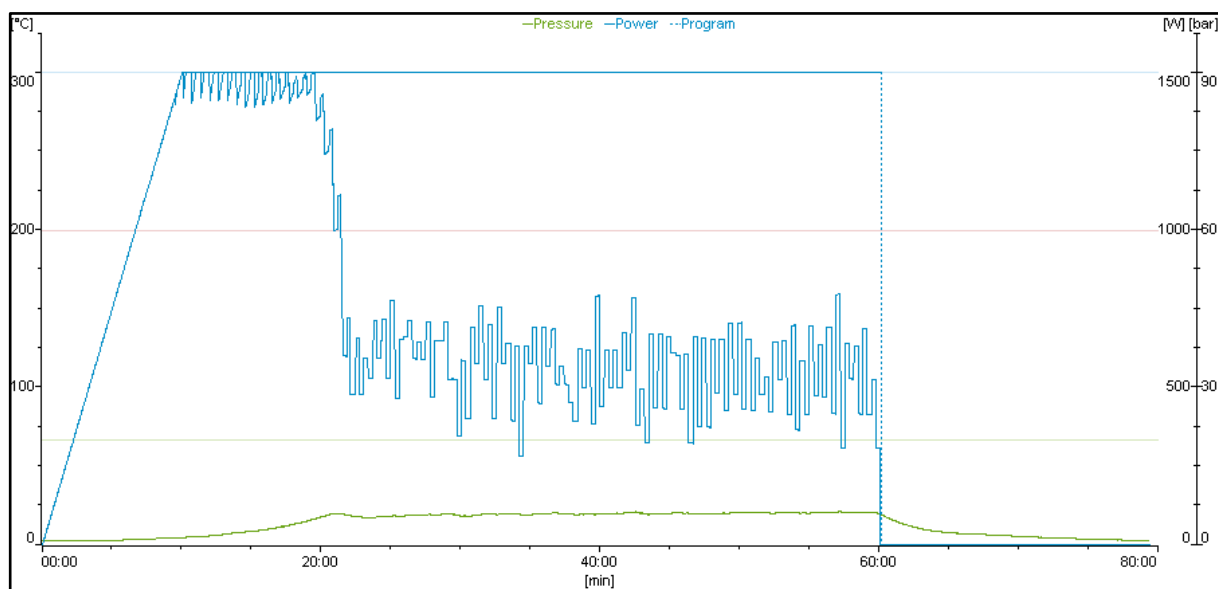
odległości spowodowane były ukształtowaniem terenu, czynnikami klimatycznymi oraz obecnością domostw i infrastruktury transportowej. W celu zminimalizowania wpływu antropogenicznego oddziaływania pojazdów na zawartość metali w glebie, punkty poboru znajdowały się w odległości przynajmniej 100 m od dróg. W każdym sektorze dokonano pięciu poborów w miejscach odległych od siebie o 8-10 m. Zadbane, aby miejsca te były odległe przynajmniej o 1 m od krzewów i drzew. Przed dokonaniem poboru usuwano roślinność oraz ściółkę leśną. Wszystkie pięć próbek łączono następnie w jedną.

Próbki pobierano z głębokości 5 cm za pomocą łopatkę wykonanej ze stali nierdzewnej o niepomalowanej powierzchni. Każda z nich zawierała 100-150 g gleby wzrokowo jednorodnej i była pakowana w bawełniany woreczek.

Pobrane próbki suszono przez 30-60 min w piecu Binder ED 115 (BINDER GmbH z siedzibą główną w Tuttlingen, Niemcy) w temperaturze 40-100°C (zależnej od ich wilgotności). Po przesianiu przez sito o średnicy oczek 0,25 mm i homogenizacji próbki gleby zapakowano w plastikowe torebki z zamkiem błyskawicznym i przekazano do laboratorium analitycznego – Laboratorium Jądrowych Technik Analitycznych (LJTA) – w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej (IChTJ).

## 2.2. Badania analityczne

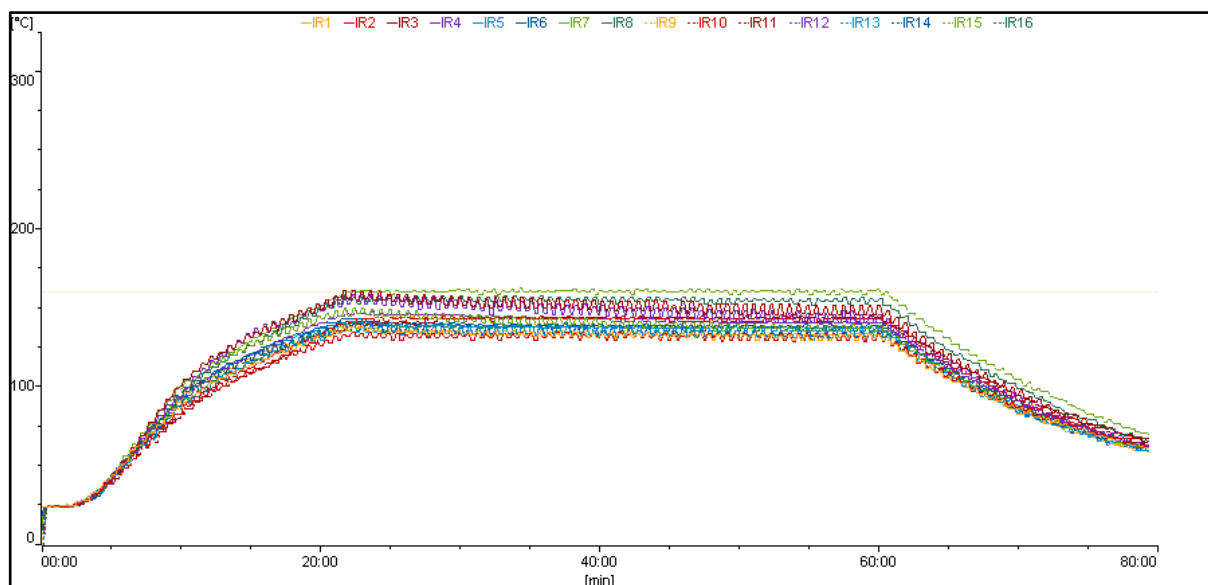
Laboratorium analityczne (LJTA w IChTJ) otrzymało 6 próbek gleby z Polski oraz 34 próbki z Białorusi. Materiał wyjęty z torebek suszono napowietrznie przez 7 dni w kontrolowanych warunkach ( $T = 25^{\circ}\text{C}$ , wilgotność – 40%), a następnie dokładnie wymieszano i kwartowano krzyżowo do uzyskania masy ok. 100 g oraz ponownie suszono w  $T = 80^{\circ}\text{C}$  przez 1 h w suszarce laboratoryjnej (Binder). Z tak uzyskanego materiału pobrano wagowo po ok. 250-500 mg materiału, umieszczono w naczyniach teflonowych i przeprowadzono roztwarzanie wspomaganie działaniem mikrofal w układzie zamkniętym (System Anton Paar Pro).



Rys. 2. Przebieg procesu rozpuszczania próbek gleby – średnia temperatura próbki [ $^{\circ}\text{C}$ ] i moc mikrofal [W] w funkcji czasu [min].

Zastosowano dwuetapową metodę roztwarzania próbek. W pierwszym etapie użyto mieszaniny destylowanego kwasu azotowego o stężeniu 65% i kwasu fluorowodorowego. W drugim etapie przeprowadzono kompleksowanie z użyciem kwasu borowego [5]. Przykłady przebiegu procesu przedstawiono na rys. 2 i 3.

Każdą próbkę gleby roztwarzano niezależnie dwa razy. W celu kontroli procesu i oszacowania niepewności otrzymanych wyników razem z próbkami gleb przeprowadzono analizę certyfikowanego materiału odniesienia Soil-5 (prod. MAEA, Wiedeń, Austria). W materiale tym certyfikowano zawartość 31 pierwiastków, z których większość stanowiły pierwiastki śladowe [6].



Rys 3. Przebieg procesu rozpuszczania próbek gleby – temperatura pojedynczej próbki [°C] w funkcji czasu [min].

Po rozpuszczeniu próbki przeniesiono ilościowo do naczyń PP o objętości 30 mL, rozcieńczono stukrotnie 2% kwasem  $\text{HNO}_3$ , dodano wzorec wewnętrzny In i wykonano oznaczenia stężenia pierwiastków metodą spektrometrii mas sprzężonej z plazmą wzbudzoną indukcyjnie (ICP-MS) z wykorzystaniem urządzenia Elan DRC II firmy Perkin Elmer. Do kalibracji spektrometru zastosowano wielopierwiastkowy roztwór wzorcowy zawierający metale i ziemie rzadkie [6].

### 2.3. Wyniki

Szczegółowe wyniki analizy elementarnej pobranych próbek gleby Puszczy Białowieskiej zamieszczono w tabeli 3, zaś ich syntezę zaprezentowano w tabeli 4.

Przedstawione w tabeli 4 zawartości wybranych metali (Cd, Co, Cu, Ni, Pb i Zn) w próbkach gleby pobranych zarówno po polskiej, jak i po białoruskiej stronie Puszczy Białowieskiej nie przekraczają dopuszczalnych wartości stężeń zawartych w rozporządzeniu Ministra Środowiska [3]. Wyjątkiem jest zawartość cynku w próbkach z części białoruskiej. Z tabel 3 i 4 wynika też, że gleba pobrana po polskiej stronie zawiera znaczne ilości żelaza.

Porównanie wyników zawartości Cu, Mn, Zn, Ni, Cd i Pb w glebie Puszczy Białowieskiej z rezultatami uzyskanymi w 1999 r. przez Gworek i wsp. [7] przedstawiono w tabeli 5. Na jego podstawie można stwierdzić, że w ciągu ostatnich dwudziestu lat nie obserwuje się antropogenicznego wzrostu zawartości tych metali. Zarówno średnie obliczone na podstawie sześciu próbek, jak i mediany nie odbiegają znacząco od wyników podanych przez Gworek i wsp. [7]. Zbliżone wartości średniej z uzyskanych wyników oraz ich mediany pozwalają przypuszczać, że zawartość metali w glebie jest jednorodna. Natomiast próbki gleby pobrane z białoruskiej części Puszczy Białowieskiej wskazują na znacznie większe jej zanieczyszczenie metalami.

Tabela 3. Analiza elementarna próbek gleby. Całkowitą niepewność wyników oszacowano na 15% (metale ciężkie) i 25% (ziemie rzadkie). Wartości te obejmują zarówno etap próbkowania, jak i analizy.

Nr próbki	Pierwiastek							
	U	Th	Co	Cu	Mn	Zn	V	Ni
	Stężenie [µg/g]							
Polska część Puszczy Białowieskiej								
1	0,76	1,55	1,77	3,72	332,4	25,96	13,74	5,91
2	0,44	0,52	1,05	1,54	99,74	21,9	7,11	5,88
3	0,72	1,21	1,71	4,54	229,62	19,87	11,54	5,24
4	0,71	1,22	1,66	2,78	379,83	30,52	9,47	6,26
5	0,57	1,91	1,17	3,15	522,62	20,18	9,75	nd
6	0,36	1,53	0,6	2,8	199,43	24,17	5,66	nd
Białoruska część Puszczy Białowieskiej								
12	7,73	13,09	19,29	45,25	8 734	352,09	160,75	87,68
14	9,57	18,60	18,20	57,11	3 407	278,36	136,95	98,55
15	6,22	9,90	13,77	40,50	1 516	154,79	94,28	82,42
16	11,21	9,32	13,42	25,47	1 038	209,52	114,26	82,97
22	11,16	26,06	18,39	44,73	2 662	172,67	181,82	95,67
23	5,07	5,75	7,86	44,16	345	148,43	46,27	110,91
26	7,37	13,55	11,60	37,33	633	163,38	84,86	78,27
31	7,97	34,66	17,73	43,48	3 112	483,0	138,39	74,27
9	9,54	28,61	19,60	41,94	1 774	494	182,12	85,80
4	11,89	38,60	27,35	63,50	2 174	614	227,71	100,28
5	8,45	18,37	16,50	36,24	900	1 542	182,69	87,03
10	6,57	15,28	11,19	36,83	1 438	1 127	95,77	76,27
6	5,70	14,56	11,58	17,43	574	1 239	114,58	69,42
11	8,96	24,19	13,71	14,51	1 067	1 410	155,65	83,50
3	12,27	39,64	32,20	nd	3 305	nd	210,38	17,47
7	10,54	15,51	9,62	nd	567	nd	105,13	8,23
2	23,51	38,66	24,70	nd	2 948	nd	225,03	92,98
25	8,59	6,01	3,98	nd	609	nd	44,81	34,11
24	15,77	39,51	10,83	nd	1 650	nd	91,37	37,26
13	0,00	11,15	19,60	nd	657	nd	37,21	nd
36	2,36	12,93	27,35	nd	299	nd	58,97	nd
33	1,73	9,34	16,50	nd	259	nd	35,84	nd
18	4,61	14,84	11,17	nd	1 672	nd	97,54	nd
8	6,65	22,60	15,29	nd	1 274	nd	119,50	nd
17	1,61	9,10	6,94	16,55	1 005	89,31	55,21	37,37
20	3,00	28,61	19,60	6,00	574	1 239,15	114,58	69,42
30	5,10	38,60	27,35	3,30	1 067	1 410,78	155,65	83,50
32	3,90	18,37	16,50	5,10	3 305	nd	210,38	17,47
34	3,30	11,15	19,60	5,70	609	nd	44,81	34,11
35	4,20	12,93	27,35	4,20	1 650	nd	91,37	37,26
37	5,70	9,34	16,50	1,20	657	nd	37,21	nd
38	6,30	14,84	9,62	2,40	900	1 542,51	182,69	87,03
39	3,30	22,60	24,70	3,30	1 438	1 127,94	95,77	76,27

Tabela 3. cd.

Nr próbki	Pierwiastek							
	Sb	Fe	Cd	Pb	La	Ce	Pr	Nd
	Stężenie [ $\mu\text{g/g}$ ]							
Polska część Puszczy Białowieskiej								
1	0,65	48 000	0,07	26,5	6,23	11,38	1,50	4,66
2	0,37	31 000	0,12	20,4	3,52	6,46	0,84	2,80
3	0,51	45 000	0,16	23,1	5,43	10,08	1,22	4,37
4	0,35	37 000	0,19	15,5	5,76	10,78	1,33	3,87
5	0,14	25 000	0,05	12,0	5,58	11,33	1,37	4,63
6	0,10	19 000	0,05	7,70	4,56	8,70	1,01	3,31
Białoruska część Puszczy Białowieskiej								
12	4,95		nd	278,9	58,36	105,8	11,93	44,36
14	4,09		nd	205,3	77,17	142,2	16,25	58,89
15	2,12		nd	120,2	41,66	76,60	8,28	29,31
16	7,59		nd	112,9	72,92	144,1	17,27	67,66
22	5,27		nd	204,7	86,27	171,7	19,00	71,04
23	3,30		nd	100,5	33,82	61,38	6,82	23,65
26	2,59		nd	122,2	52,50	99,74	11,42	41,54
31	16,08		1,64	154,1	76,94	144,4	15,99	56,81
9	6,99		2,68	199,2	90,14	181,1	19,05	71,04
4	5,56		3,00	238,5	118,1	234,3	25,77	91,40
5	4,61		1,35	186,3	231,9	126,3	12,49	220,9
10	2,53		0,66	87,82	45,80	84,02	9,07	32,21
6	2,67		0,79	141,3	50,70	93,37	10,18	36,57
11	3,49		1,17	147,8	91,10	167,7	18,31	64,91
3	2,81		nd	35,86	142,3	292,0	31,12	116,55
7	3,31		nd	32,24	66,55	127,5	13,84	48,52
2	3,67		nd	89,33	139,7	273,3	29,78	111,4
25	2,40		nd	19,86	27,66	52,92	5,62	21,17
24	3,15		nd	145,0	58,12	112,6	12,98	47,79
13	0,94		nd	64,53	32,07	56,56	6,91	24,02
36	2,43		nd	205,5	40,42	74,78	8,97	31,67
33	1,59		nd	108,8	28,92	52,11	6,03	22,79
18	1,29		nd	156,0	50,10	93,31	10,49	42,59
8	1,14		nd	128,5	73,05	140,5	15,69	60,19
17	0,70		nd	68,87	33,59	62,31	6,80	27,62
20	2,67		0,79	141,3	45,80	84,02	9,07	32,21
30	3,49		1,17	147,8	50,70	93,37	10,18	36,57
32	2,81		nd	35,86	91,10	167,7	18,31	64,91
34	2,40		nd	19,86	142,36	292,07	31,12	116,5
35	3,15		nd	145,05	66,55	127,5	13,84	48,52
37	0,94		nd	64,53	32,07	56,56	6,91	24,02
38	4,61		1,35	186,4	40,42	74,78	8,97	31,67
39	2,53		0,66	87,82	28,92	52,11	6,03	22,79

Tabela 3. cd.

Nr próbki	Pierwiastek							
	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm
	Stężenie [ $\mu\text{g/g}$ ]							
Polska część Puszczy Białowieskiej								
1	1,10	0,28	1,02	0,12	0,78	0,2	0,52	0,07
2	0,53	0,17	0,57	0,08	0,5	0,11	0,48	0,06
3	0,87	0,28	0,8	0,13	0,68	0,16	0,48	0,07
4	0,87	0,23	0,98	0,10	0,60	0,13	0,40	0,05
5	1,07	0,20	0,98	0,15	0,63	0,14	0,45	0,06
6	0,77	0,16	0,65	0,10	0,47	0,09	0,36	0,05
Białoruska część Puszczy Białowieskiej								
7	9,08	2,61	9,15	1,16	7,10	1,66	4,93	0,77
8	10,80	2,50	10,44	1,22	6,84	1,43	5,18	0,68
9	6,42	2,04	6,21	0,75	4,82	1,16	4,24	0,59
10	13,26	2,82	11,61	1,54	6,85	1,39	4,14	0,30
11	13,15	3,21	13,66	1,54	8,30	1,56	5,26	0,64
12	4,92	0,75	5,24	0,32	1,23	0,29	2,10	0,15
13	7,55	2,21	8,02	0,90	4,80	0,95	3,04	0,50
14	11,53	3,16	11,85	1,47	7,35	1,60	4,64	0,84
15	14,38	3,34	14,62	1,95	9,68	1,89	5,88	0,92
16	19,06	3,89	18,49	2,43	12,54	2,77	8,13	1,20
17	9,60	2,45	14,37	1,77	7,77	1,53	4,84	0,67
18	6,87	1,92	6,33	0,85	4,06	0,92	3,09	0,53
19	7,29	1,93	6,76	0,91	5,13	1,01	2,98	0,47
20	12,22	2,81	12,75	1,43	6,89	1,51	4,85	0,75
21	23,16	5,00	24,52	3,21	15,78	3,18	9,70	1,35
22	9,77	2,47	8,92	1,07	6,13	1,17	3,70	0,62
23	21,19	4,53	21,84	2,67	14,59	2,91	9,21	1,40
24	4,05	1,53	4,94	0,48	3,39	0,70	1,96	0,35
25	9,42	2,40	9,52	1,35	7,11	1,52	5,15	0,80
26	5,12	1,13	4,51	0,60	2,56	0,55	1,66	0,23
27	6,27	1,44	5,72	0,77	4,10	0,70	2,43	0,42
28	4,44	1,07	4,34	0,50	3,06	0,61	1,88	0,27
29	7,93	2,22	8,45	1,12	7,03	1,60	4,86	0,80
30	12,25	2,49	11,67	1,47	7,86	1,56	4,53	0,73
31	5,71	2,10	5,43	0,75	4,73	0,99	3,31	0,45
32	6,87	1,92	6,33	0,85	4,06	0,92	3,09	0,53
33	7,29	1,93	6,76	0,91	5,13	1,01	2,98	0,47
34	12,22	2,81	12,75	1,43	6,89	1,51	4,85	0,75
35	23,16	5,00	24,52	3,21	15,78	3,18	9,70	1,35
36	9,77	2,47	8,92	1,07	6,13	1,17	3,70	0,62
37	5,12	1,13	4,51	0,60	2,56	0,55	1,66	0,23
38	6,27	1,44	5,72	0,77	4,10	0,70	2,43	0,42
39	4,44	1,07	4,34	0,50	3,06	0,61	1,88	0,27

Tabela 3. cd.

Nr próbki	Pierwiastek	
	Yb	Lu
	Stężenie [ $\mu\text{g/g}$ ]	
Polska część Puszczy Białowieskiej		
1	0,51	0,09
2	0,48	0,09
3	0,58	0,09
4	0,46	0,10
5	0,37	0,07
6	0,32	0,06
Białoruska część Puszczy Białowieskiej		
2	5,56	0,92
3	5,40	0,82
4	4,34	0,70
5	5,15	0,00
6	5,75	0,94
7	1,73	0,00
8	3,64	0,63
9	4,66	0,91
10	6,61	1,10
11	9,02	1,42
12	5,02	0,89
13	3,31	0,50
14	2,96	0,56
15	4,76	0,73
16	9,84	1,70
17	4,12	0,70
18	9,82	1,62
19	2,57	0,46
20	5,13	0,86
22	1,45	0,27
23	2,40	0,41
24	1,89	0,28
25	5,44	0,90
26	5,49	0,76
30	3,28	0,46
31	3,31	0,50
32	2,96	0,56
33	4,76	0,73
34	9,84	1,70
35	4,12	0,70
36	2,40	1,62
37	1,89	0,46
38	5,44	0,90

nd – nie wykryto.



Tabela 4. Uśrednione wyniki analizy elementarnej próbek gleby [ $\mu\text{g/g}$ ] wyliczone na podstawie szczegółowych danych zawartych w tabeli 3.

Pierwiastek	Polska część Puszczy Białowieskiej			Białoruska część Puszczy Białowieskiej			Rozporządzenie [3]
	Średnia	SD	Mediana	Średnia	SD	Mediana	
Metale							
Cd	0,1	0,1	0,1	1,4	0,8	1,2	4
Co	1,3	0,5	1,4	17	6,8	16,5	20
Cu	3,1	1,0	3,0	25,9	20,0	25,5	150
Fe	34 300	11 350	34 200				
Mn	293,9	149,6	281,0	1 631	1 589	1 067	
Ni	5,8	0,4	5,9	68,4	28,8	78,3	100
Pb	17,5	7,1	18,0	126,8	65,0	128,6	100
Sb	0,4	0,2	0,4	3,6	2,8	2,8	
Th	1,3	0,5	1,4	19,6	10,7	15,3	
U	0,6	0,2	0,6	7,3	4,6	6,6	
V	9,5	2,9	9,6	119,1	58,7	114,3	
Zn	23,8	4,1	23	726,4	554,8	494,2	300
Ziemie rzadkie							
La	5,2	1,0	5,5	70,2	43,9	58,1	
Ce	9,8	1,9	10,4	124,8	68	105,9	
Pr	1,2	0,2	1,3	13,8	7,2	11,9	
Nd	3,9	0,8	4,1	55,8	40,1	44,4	
Sm	0,9	0,2	0,9	10	5,3	9,1	
Eu	0,2	0,1	0,2	2,4	1,1	2,4	
Gd	0,8	0,2	0,9	10,1	5,6	8,9	
Tb	0,1	0,1	0,1	1,3	0,7	1,1	
Dy	0,6	0,1	0,6	6,6	3,6	6,1	
Ho	0,1	0,1	0,1	1,4	0,7	1,2	
Er	0,4	0,1	0,5	4,3	2,2	4,1	
Tm	0,1	0,1	0,1	0,6	0,3	0,6	
Yb	0,5	0,1	0,5	4,7	2,3	4,7	
Lu	0,1	0,1	0,1	0,8	0,4	0,7	

Tabela 5. Porównanie uzyskanych wyników zawartości wybranych metali w glebie Puszczy Białowieskiej z rezultatami otrzymanymi przez Gworek i wsp. [7].

		Cu	Mn	Zn	Ni	Cd	Pb
		Zawartość [mg/kg]					
Literatura [7]		8	297	29	10	0,29	12
Polska część Puszczy Białowieskiej							
Średnia	(n=6)	$3,1 \pm 1$	$293,9 \pm 149,6$	$23,8 \pm 4,1$	$5,8 \pm 0,4$	$0,1 \pm 0,1$	$17,5 \pm 7,1$
Mediana		3	281	23	5,9	0,1	18
Białoruska część Puszczy Białowieskiej							
Średnia	(n=6)	$25,9 \pm 20$	$1631 \pm 1589$	$726,4 \pm 554,8$	$68,4 \pm 28,8$	$1,4 \pm 0,8$	$126,8 \pm 65$
Mediana		25,5	1067,2	494,2	78,3	1,2	128,6

### Podziękowania

Praca wykonana w ramach badań statutowych Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej „Sprzęgnięcie chromatografii oddziaływania jonów i/lub chromatografii jonowej ze spektrometrią masową w celu chromatograficznego oznaczania uranu, toru i pierwiastków ziem rzadkich na niskich poziomach stężeń”.

### 3. LITERATURA

- [1]. International Atomic Energy Agency. (2004). *Soil Sampling for Environmental Contaminants*. Vienna: IAEA. IAEA-TECDOC-1415.
- [2]. Sejm RP (2001). *Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska*. Dz. U. nr 62, poz. 627.
- [3]. Minister Środowiska. (2002). *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleb oraz standardów jakości ziem*. Dz. U. nr 165, poz. 1359.
- [4]. Faliński, J.B., & Mułenko, W. (wyd.). (1992). Cryptogamous plants in the forest communities of Białowieża National Park. Check-list of cryptogamous and seminal plant species recorded during the period 1987-1991 on the permanent plot V-100 (Project CRYPTO [1]). *Phytocoenosis, Arch. Geobot.*, 4, 3, 1-48.
- [5]. Chajduk, E., Bartosiewicz, I., Pyszynska, M., Chwastowska, J., & Polkowska-Motrenko, H. (2013). Determination of uranium and selected elements in Polish dictyonema shales and sandstones by ICP-MS. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 295, 1913-1919.
- [6]. Dybczyński, R., Tugsavul, A., & Suschny, O. (1979). Soil-5, A new IAEA certified reference material for trace element determinations. *Geostandards Newslett.*, 3(1), 61-87.
- [7]. Gworek, B., Degórski, M., & Brogowski, Z. (1999). Trace metals in auto and semihydrogenic soils found in three forest site types of Białowieża National Park. *Pol. J. Environ. Stud.*, 8, 5, 305-308.