

Krzysztof Pakuła*

**ZAWARTOŚĆ WYBRANYCH PIERWIĄSTKÓW W GLEBACH WOKÓŁ
SKŁADOWISKA ODPADÓW KOMUNALNYCH**

**THE CONTENT OF SOME ELEMENTS IN SOILS AROUND THE
MUNICIPAL WASTE DUMP**

Słowa kluczowe: makroelementy, pierwiastki śladowe, właściwości gleb, składowisko odpadów komunalnych.

Key words: macroelements, trace elements, soils properties, municipal waste dump.

The investigations were aimed at assessing the impact of municipal waste dump in Wola Suchożebrska near Siedlce on properties and chemical composition of three anthropogenic soils profiles formed with moraine sandy deposits (loamy sands, weakly loamy sands and sands) located in the immediate vicinity of the landfill. Varied physical and physico-chemical properties, and total contents of calcium, magnesium, potassium, phosphorus, sodium, aluminum, iron manganese, titanium, barium, strontium, vanadium, lithium, arsenic, and cobalt were recorded in investigated soils. These elements could be presented in the following of decreasing mean contents sequence: Ca > Mg > K > P > Na, and Al > Fe > Mn > Ti > Ba > Sr > V > Li > As > Co. Concentrations of these elements did not exceed values characteristic for moraine sandy deposits, which indicates small influence of anthropopression on studied area. The chemical composition of investigated soils has shown that the municipal waste dump in Wola Suchożebrska has not negative influence on soils environment and nearby agriculturals and forests ecosystems. Statistical analysis proved that the accumulation and circulation of analyzed elements in soils environment significantly depended on properties and chemical composition of investigated soils.

* Dr inż. Krzysztof Pakuła – Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej, Wydział Przyrodniczy, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, ul. Prusa 14, 08-110 Siedlce; tel.: 25 643 12 91.

1. WPROWADZENIE

Gleba stanowi podstawowy element środowiska przyrodniczego, który narażony jest na zanieczyszczenie i stopniową degradację ze strony deponowanych w niej pierwiastków pochodzących ze źródeł antropogenicznych [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. W Polsce unieszkodliwianie odpadów poprzez składowanie jest nadal jedną z najczęściej stosowanych metod. Składowiska odpadów komunalnych należą do potencjalnych źródeł zanieczyszczeń, dlatego też wskazany jest stały monitoring ich wpływu na środowisko naturalne i agralne. Gleby położone wokół takich składowisk narażone są m.in. na zanieczyszczenie różnorodnymi związkami pierwiastków pochodzącymi z odcieków, pyłów oraz odpadów wynoszonych przez wiatr z obszaru eksploatowanych składowisk. Badania gleboznawcze pozwalają ocenić wpływ przemian zgromadzonych odpadów na skład chemiczny i aktywność biologiczną gleb w rejonie eksploatowanego składowiska oraz określić strefy (poziomy genetyczne oraz głębokość ich występowania) depozycji pierwiastków i możliwość ich przemieszczania w profilu glebowym [Ahel i in. 1998, Meller i in. 2005, Rosik-Dulewska 2005]. Celem niniejszej pracy była ocena oddziaływania składowiska odpadów komunalnych na właściwości i skład chemiczny gleb położonych w jego bezpośrednim sąsiedztwie.

2. MATERIAŁ I METODY

Składowisko odpadów komunalnych zlokalizowane na wzgórzu morenowym w miejscowości Wola Suchożebrska koło Siedlec (we wschodniej części województwa mazowieckiego, na Wysoczyźnie Siedleckiej w granicach Niziny Południowopodlaskiej), funkcjonuje od 1986 r. i ma kwatery eksploatacyjne o powierzchni 6,40 ha. Składowane są tutaj wyłącznie odpady komunalne i przemysłowe typu komunalnego z Siedlec i okolic. Teren składowiska nie ma naturalnej bariery geologicznej w związku z tym, aby zabezpieczyć glebę i wody przed wyciekami dno składowiska zostało uszczelnione folią oraz wykonano system drenażu podfoliowego i nadfoliowego.

Obiektem badań były trzy profile gleb antropogenicznych o niewykształconym profilu, zlokalizowane w odległości około 10 m od podstawy wału okalającego kwaterę eksploatacyjną składowiska, w jego części: północno-wschodniej (profil nr I – N: 52°14'6", E: 22°14'20"), północno-zachodniej (profil nr II – N: 52°14'0", E: 22°14'15") i południowej (profil nr III – N: 52°13'48", E: 22°14'29").

W powietrznie suchych próbkach gleby pobranych z poszczególnych wastw 3 profili glebowych zbadano: skład granulometryczny według Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego [Klasyfikacja...2009] – metodą areometryczną, pH w 1 mol KCl·dm⁻³ – potencjometrycznie, węgiel związków organicznych (C_{org}) – metodą oksydacyjno-miareczkową [Kalembasa, Kalembasa 1992], azot ogólny (N_{og}) – metodą Kiejdahla, kwasowość całkowitą (hydrolityczną – H_{cał}) i sumę kationów zasadowych (S) – metodą Kappena, na pod-

stawie których obliczono pojemność sorpcyjną gleby (T) i stopień wysycenia glebowego kompleksu sorpcyjnego zasadami (V). Zawartość ogólną P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Al, Mn, Co, Li, Ti, Ba, Sr, V, As – oznaczono metodą ICP-AES, po mineralizacji mikrofalowej w mieszaninie stężonego HCl i HNO₃ (3 :1).

Dla poszczególnych warstw badanych gleb obliczono współczynniki wzbogacenia (w.w.) w analizowane pierwiastki (w stosunku do ich zawartości w najniższej położonej warstwie gleby). Uzyskane wyniki opracowano statystycznie, podano w postaci współczynników korelacji prostej i zmienności oraz wartości odchylenia standardowego.

3. WYNIKI I DYSKUSJA

Wybrane fizyczne, fizykochemiczne i chemiczne właściwości badanych gleb antropogenicznych były charakterystyczne dla morenowych utworów piaszczystych (piaski gliniaste przewarstwione piaskami słabo gliniastymi i podścielone piaskiem luźnym) zlodowacenia środkowopolskiego (tab. 1). Gleby te charakteryzowały się odczynem od kwaśnego (warstwy powierzchniowe zalegające poniżej 30 cm) do zasadowego, akumulacją węgla związków organicznych i azotu ogólnego w warstwach powierzchniowych oraz zróżnicowaną pionową zawartością frakcji iłowej ($\phi < 0,002$ mm) w wyniku jej wymywania, translokacji i akumulacji w profilu glebowym, w warunkach procesu przemýviania. Kwasowość całkowita (H_{cat}) była zróżnicowana w obrębie profilu i wynosiła od 2,80 do 21,2 mmol (+)·kg⁻¹. Największe wartości sumy kationów zasadowych (S), pojemności sorpcyjnej (T) i stopnia wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami (V) stwierdzono w wierzchnich warstwach badanych gleb i na ogół zmniejszały się one wraz z głębokością.

W profilach badanych gleb stwierdzono zróżnicowaną zawartość makroelementów, których malejące średnie wartości (g·kg⁻¹) można przedstawić w następującym szeregu: Ca (1,36) > Mg (0,57) > K (0,50) > P (0,32) > Na (0,13) (tab. 2). Najwięcej Ca, Mg, P i Na oznaczono w powierzchniowej warstwie (0–5 cm) analizowanych gleb, a K – w warstwie położonej najniżej (120–150 cm), przy czym najmniejsze zawartości zanotowano na głębokości 20–25 cm (K, P, Na) i 30–50 cm (Ca, Mg). W powierzchniowych warstwach badanych gleb stwierdzono nieznaczne ich wzbogacenie w makroelementy (z wyjątkiem K), o czym świadczą wartości wskaźnika wzbogacenia (w.w.): od 1,06–1,07 (dla Na) do 1,79–3,03 (dla Ca) (tab. 2). Wysokie wartości tego wskaźnika (powyżej jedności) w tych warstwach wynikają z akumulacji biologicznej i małej zasobności skały macierzystej w badane pierwiastki. Meller i in. [2005] stwierdzili wpływ składowiska odpadów komunalnych na zwiększenie zawartości ogólnej makroelementów, w poziomach mineralnych gleb wytworzonych z piasków słabo gliniastych i luźnych, układającej się następująco w szeregu malejących wartości Ca > K > Mg > P > Na. Kalembasa i Majchrowska-Safaryan [2007] podają, że w poziomach powierzchniowych gleb uprawnych Wysoczyzny Siedleckiej

Tabela 1. Wybrane właściwości (zakresy) badanych gleb wokół składowiska odpadów komunalnych
Table 1. Some properties (ranges) of the investigated soils around the municipal waste dump

| Warstwa, cm | Piasek 2-0,5 | Pyl 0,5-0,002 | Ił < 0,002 | pH _{KCl} | H _{cat} | S | T | V | C _{org} | N _{org} |
|----------------|-----------------|------------------|---------------|-------------------|------------------|-----------|-----------|-----------|------------------|------------------|
| | | | | | | | | | | |
| 0-5 | 80-85 | 8-14 | 5-7 | 6,21-7,62 | 5,50-21,2 | 62,5-218 | 83,7-223 | 74,7-97,8 | 14,4-20,4 | 1,22-2,33 |
| 5-10 | 81-89 | 7-13 | 4-7 | 6,29-7,69 | 7,50-15,9 | 50,0-145 | 61,4-152 | 82,0-95,4 | 8,94-12,9 | 0,82-0,98 |
| 10-15 | 82-86 | 8-12 | 5-6 | 6,85-7,90 | 6,50-15,5 | 26,0-133 | 39,1-139 | 66,7-95,7 | 5,22-11,2 | 0,57-0,77 |
| 15-20 | 83-88 | 6-10 | 6-7 | 6,00-7,62 | 5,50-15,0 | 28,5-102 | 43,5-107 | 65,5-95,3 | 4,17-10,7 | 0,34-0,67 |
| 20-25 | 84-86 | 8-10 | 6-7 | 6,92-7,60 | 5,50-9,40 | 36,5-90,0 | 45,9-95,5 | 79,6-94,1 | 3,62-8,79 | 0,28-0,54 |
| 25-30 | 82-94 | 4-13 | 2-5 | 6,42-8,01 | 4,70-13,1 | 25,2-35,0 | 29,9-48,1 | 72,8-84,3 | 2,93-4,34 | 0,23-0,47 |
| 30-50 | 82-92 | 6-12 | 2-6 | 5,17-7,79 | 3,80-17,8 | 20,0-30,5 | 34,8-38,3 | 58,9-78,9 | 2,68-4,16 | 0,19-0,43 |
| 50-75 | 82-95 | 4-12 | 2-6 | 4,96-8,31 | 2,80-20,1 | 18,3-27,5 | 21,1-47,6 | 57,8-86,1 | 1,41-3,94 | 0,12-0,35 |
| 75-100 | 81-94 | 5-12 | 1-7 | 4,78-8,20 | 2,80-20,6 | 17,0-29,2 | 33,0-37,6 | 51,5-77,9 | 0,63-1,08 | 0,09-0,12 |
| 100-125 | 82-96 | 3-14 | 1-4 | 4,67-8,14 | 5,00-16,5 | 16,0-20,0 | 21,0-36,5 | 54,8-76,2 | 0,42-0,73 | 0,07-0,12 |
| 125-150 | 88-94 | 5-10 | 1-2 | 4,73-8,28 | 5,10-15,0 | 12,5-17,8 | 17,6-32,8 | 55,6-71,0 | 0,33-0,70 | 0,04-0,11 |

Objaśnienia: H_{cat} – kwasowość całkowita (hydrolityczna), S – suma kationów zasadowych, T – pojemność sorpcyjna, V – stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami.

Tabela 2. Zawartość ogólna makroelementów oraz żelaza i glinu w badanych glebach wokół składowiska odpadów komunalnych, g·kg⁻¹
Table 2. Total content of macroelements, Fe and Al in the investigated soils around the municipal waste dump, g·kg⁻¹

| War- stwa, cm | P | w.w.* | K | w.w. | Ca | w.w. | Mg | w.w. | Na | w.w. | Fe | w.w. | Al | w.w. |
|---------------------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0-5 | 0,40 | 1,14 | 0,59 | 0,93 | 2,39 | 3,03 | 0,68 | 1,19 | 0,17 | 1,07 | 3,16 | 0,90 | 4,24 | 0,90 |
| 5-10 | 0,34 | 0,97 | 0,49 | 0,77 | 1,72 | 2,19 | 0,61 | 1,06 | 0,13 | 0,79 | 3,58 | 1,01 | 4,87 | 1,03 |
| 10-15 | 0,31 | 0,89 | 0,42 | 0,66 | 1,41 | 1,79 | 0,59 | 1,02 | 0,10 | 0,64 | 3,89 | 1,10 | 5,61 | 1,19 |
| 15-20 | 0,37 | 1,06 | 0,58 | 0,91 | 1,83 | 2,33 | 0,58 | 1,01 | 0,17 | 1,06 | 2,59 | 0,74 | 3,63 | 0,77 |
| 20-25 | 0,22 | 0,62 | 0,40 | 0,63 | 1,95 | 2,48 | 0,59 | 1,03 | 0,08 | 0,47 | 2,00 | 0,57 | 2,22 | 0,47 |
| 25-30 | 0,24 | 0,69 | 0,42 | 0,66 | 2,14 | 2,72 | 0,65 | 1,12 | 0,09 | 0,57 | 2,44 | 0,69 | 2,88 | 0,61 |
| 30-50 | 0,28 | 0,78 | 0,45 | 0,71 | 0,62 | 0,79 | 0,43 | 0,74 | 0,10 | 0,63 | 3,03 | 0,86 | 3,44 | 0,73 |
| 50-70 | 0,30 | 0,84 | 0,48 | 0,76 | 0,66 | 0,84 | 0,48 | 0,83 | 0,12 | 0,74 | 3,06 | 0,87 | 4,05 | 0,85 |
| 70-100 | 0,32 | 0,90 | 0,52 | 0,81 | 0,70 | 0,89 | 0,51 | 0,89 | 0,13 | 0,83 | 3,26 | 0,92 | 4,45 | 0,94 |
| 100-120 | 0,33 | 0,94 | 0,55 | 0,86 | 0,74 | 0,94 | 0,55 | 0,96 | 0,15 | 0,96 | 3,35 | 0,95 | 4,62 | 0,97 |
| 120-150 | 0,35 | - | 0,64 | - | 0,79 | - | 0,58 | - | 0,16 | - | 3,53 | - | 4,74 | - |
| Średnia | 0,32 | - | 0,50 | - | 1,36 | - | 0,57 | - | 0,13 | - | 3,08 | - | 4,07 | - |
| SD** | 0,05 | - | 0,08 | - | 0,67 | - | 0,07 | - | 0,03 | - | 0,55 | - | 0,97 | - |
| RSD*** | 17,4 | - | 15,5 | - | 49,6 | - | 13,0 | - | 26,1 | - | 17,9 | - | 23,8 | - |

Objaśnienia: *w.w. – współczynnik wzbogacenia, **SD – odchylenie standardowe, ***RSD – współczynnik zmienności.

Tabela 3. Zawartość ogólna pierwiastków śladowych w badanych glebach wokół składowiska odpadów komunalnych, mg·kg⁻¹
Table 3. Total content of trace elements in the investigated soils around the municipal waste dump, mg·kg⁻¹

| War- stwa, cm | Mn | w.w.* | Co | w.w. | Li | w.w. | Ti | w.w. | Ba | w.w. | Sr | w.w. | V | w.w. | As | w.w. |
|---------------------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0-5 | 221 | 1,95 | 1,21 | 0,78 | 2,47 | 0,60 | 50,4 | 1,02 | 27,3 | 1,29 | 8,23 | 1,29 | 5,27 | 1,03 | 2,90 | 1,09 |
| 5-10 | 177 | 1,57 | 1,07 | 0,69 | 3,19 | 0,78 | 54,9 | 1,11 | 22,7 | 1,08 | 7,50 | 1,17 | 5,47 | 1,07 | 0,79 | 0,29 |
| 10-15 | 169 | 1,50 | 0,89 | 0,57 | 2,44 | 0,60 | 37,4 | 0,76 | 21,8 | 1,04 | 6,78 | 1,06 | 6,17 | 1,21 | 0,97 | 0,36 |
| 15-20 | 122 | 1,08 | 1,09 | 0,70 | 1,85 | 0,45 | 33,7 | 0,68 | 18,8 | 0,89 | 5,21 | 0,81 | 6,38 | 1,25 | 1,13 | 0,42 |
| 20-25 | 115 | 1,01 | 0,60 | 0,39 | 1,32 | 0,32 | 30,1 | 0,61 | 17,7 | 0,84 | 4,75 | 0,74 | 6,51 | 1,28 | 1,29 | 0,49 |
| 25-30 | 87,0 | 0,77 | 0,70 | 0,45 | 1,77 | 0,43 | 26,0 | 0,53 | 17,3 | 0,82 | 4,54 | 0,71 | 3,75 | 0,74 | 1,39 | 0,52 |
| 30-50 | 71,3 | 0,63 | 0,83 | 0,53 | 2,30 | 0,56 | 22,5 | 0,45 | 16,4 | 0,78 | 3,68 | 0,58 | 2,67 | 0,52 | 1,50 | 0,56 |
| 50-70 | 81,6 | 0,72 | 0,92 | 0,59 | 2,53 | 0,62 | 37,7 | 0,76 | 18,5 | 0,88 | 5,18 | 0,81 | 3,67 | 0,72 | 1,82 | 0,68 |
| 70-100 | 90,9 | 0,80 | 1,22 | 0,78 | 3,54 | 0,87 | 44,9 | 0,91 | 19,5 | 0,92 | 5,60 | 0,88 | 4,26 | 0,84 | 1,90 | 0,71 |
| 100-120 | 111 | 0,98 | 1,46 | 0,94 | 3,88 | 0,95 | 47,9 | 0,97 | 20,3 | 0,96 | 5,77 | 0,90 | 4,66 | 0,91 | 2,35 | 0,88 |
| 120-150 | 113 | - | 1,55 | - | 4,09 | - | 49,5 | - | 21,1 | - | 6,40 | - | 5,10 | - | 2,67 | - |
| Średnia | 124 | - | 1,05 | - | 2,67 | - | 39,6 | - | 20,1 | - | 5,79 | - | 4,90 | - | 1,70 | - |
| SD** | 46,6 | - | 0,30 | - | 0,90 | - | 10,7 | - | 3,07 | - | 1,34 | - | 1,23 | - | 0,70 | - |
| RSD*** | 37,7 | - | 28,5 | - | 33,6 | - | 27,2 | - | 15,3 | - | 23,2 | - | 25,1 | - | 40,9 | - |

Objaśnienia: *w.w. – współczynnik wzbogacenia, **SD – odchylenie standardowe, ***RSD – współczynnik zmienności.

Tabela 4. Współczynniki korelacji pomiędzy zawartością ogólną makroelementów i pierwiastków śladowych oraz wybranymi właściwościami gleb wokół składowiska odpadów komunalnych

Table 4. The coefficient correlation between the total content of elements and some properties of the investigated soils around the municipal waste dump

| | P | K | Ca | Mg | Na | Fe | Al | Mn | Co | Li | Ti | Ba | Sr | V | As |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|
| K | 0,286 | x | | | | | | | | | | | | | |
| Ca | -0,008 | 0,482 | x | | | | | | | | | | | | |
| Mg | 0,474 | 0,689 | 0,171 | x | | | | | | | | | | | |
| Na | 0,522 | 0,817 | 0,258 | 0,726 | x | | | | | | | | | | |
| Fe | 0,281 | 0,447 | 0,191 | 0,583 | 0,255 | x | | | | | | | | | |
| Al | 0,342 | 0,446 | 0,044 | 0,702 | 0,328 | 0,916 | x | | | | | | | | |
| Mn | 0,424 | -0,014 | 0,325 | 0,243 | 0,082 | 0,371 | 0,395 | x | | | | | | | |
| Co | 0,481 | 0,690 | 0,092 | 0,625 | 0,615 | 0,600 | 0,623 | 0,160 | x | | | | | | |
| Li | 0,366 | 0,549 | -0,118 | 0,512 | 0,464 | 0,653 | 0,690 | -0,070 | 0,742 | x | | | | | |
| Ti | 0,467 | 0,496 | 0,132 | 0,560 | 0,444 | 0,667 | 0,679 | 0,563 | 0,631 | 0,628 | x | | | | |
| Ba | 0,198 | 0,542 | 0,460 | 0,556 | 0,450 | 0,631 | 0,537 | 0,612 | 0,447 | 0,510 | 0,714 | x | | | |
| Sr | 0,292 | 0,850 | 0,613 | 0,603 | 0,657 | 0,583 | 0,529 | 0,571 | 0,517 | 0,548 | 0,513 | 0,665 | x | | |
| V | 0,147 | 0,156 | 0,390 | 0,419 | 0,001 | 0,398 | 0,384 | 0,554 | 0,206 | 0,023 | 0,485 | 0,472 | 0,241 | x | |
| As | 0,174 | 0,354 | -0,248 | 0,081 | 0,402 | 0,116 | 0,144 | -0,244 | 0,439 | 0,555 | 0,227 | 0,056 | 0,247 | -0,270 | x |
| pH _{KCl} | -0,023 | 0,556 | 0,467 | 0,450 | 0,492 | -0,076 | 0,022 | -0,132 | 0,062 | 0,066 | -0,084 | 0,468 | 0,523 | -0,062 | -0,135 |
| T | 0,226 | 0,331 | 0,842 | 0,527 | 0,277 | 0,464 | 0,488 | 0,548 | 0,151 | -0,017 | 0,262 | 0,588 | 0,706 | 0,317 | -0,283 |
| C _{org} | 0,298 | 0,324 | 0,285 | 0,308 | 0,327 | 0,159 | 0,200 | 0,276 | 0,500 | 0,224 | 0,312 | 0,450 | 0,444 | 0,161 | 0,071 |
| ∅ < 0,002 | 0,012 | -0,321 | 0,321 | -0,161 | 0,333 | 0,046 | -0,050 | 0,510 | -0,325 | 0,473 | 0,034 | 0,199 | -0,078 | 0,553 | 0,649 |

Objaśnienia: $\alpha = 0,05$ $r = 0,344$; $\alpha = 0,01$ $r = 0,442$.

wytworzonych z piasku gliniastego szereg ten był następujący: $K > Mg > Ca > P > Na$, a w piasku luźnym skały macierzystej: $K > Ca > Mg > P > Na$.

W badanych glebach stwierdzono zróżnicowaną zawartość żelaza, glinu, manganu, kobaltu, litu, baru, strontu, tytanu, wanadu i arsenu między poszczególnymi profilami glebowymi i w obrębie danego profilu (tab. 2 i tab. 3). Pierwiastki te można ułożyć w następującym szeregu malejących średnich zawartości (Al i Fe w $g \cdot kg^{-1}$, pozostałe w $mg \cdot kg^{-1}$): $Al (4,07) > Fe (3,08) > Mn (124) > Ti (39,6) > Ba (20,1) > Sr (5,79) > V (4,90) > Li (2,67) > As (1,70) > Co (1,05)$. Największe ilości Mn, Ba, Sr i As stwierdzono na głębokości 0–5 cm, Ti – 5–10 cm; Fe i Al – 10–15 cm; V – 20–25 cm; Co i Li – 120–150 cm. Najmniej arsenu w analizowanych glebach oznaczono na głębokości 5–10 cm; Fe, Al, Co i Li – 20–25 cm; Mn, Ti, Ba, Sr i V – 30–50 cm. W warstwach gleby leżących poniżej minimalnej zawartości danego pierwiastka zaobserwowano stopniowe zwiększanie ich ilości wraz z głębokością w profilu glebowym. Zróżnicowanie to może wynikać z natury geochemicznej danego pierwiastka i specyficznych warunków środowiska glebowego (odczyn, pojemność sorpcyjna, zawartość węgla, związków organicznych) [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. W powierzchniowych warstwach badanych gleb stwierdzono nieznaczne ich wzbogacenie w pierwiastki śladowe (z wyjątkiem Co i Li), o czym świadczą wartości wskaźnika wzbogacenia (w.w.): od 1,01–1,10 (dla Fe) do 1,01–1,95 (dla Mn) (tab. 2 i tab. 3). Wysokie wartości tego wskaźnika (powyżej jedności) w tych warstwach wynikają głównie z akumulacji biologicznej i małej zasobności skały macierzystej w omawiane pierwiastki.

Zawartość ogólna pierwiastków śladowych w powierzchniowych warstwach analizowanych gleb nie przekraczała wartości charakterystycznych dla gleb wytworzonych z utworów piaszczystych [Kabata-Pendias, Pendias 1999, Kalembasa, Jaremko 2006]. Zawartość ogólna As, Ba i Co nie przekraczała dopuszczalnych wartości progowych zawartych w rozporządzeniu Ministra Środowiska [2002] i nie stanowiła zagrożenia dla pobliskich agrocenoz i ekosystemów leśnych.

Ahel i in. [1998] oraz Meller i in. [2005] stwierdzili wpływ składowiska odpadów komunalnych na zwiększenie zawartości ogólnej Fe, Mn, Co, Sr i V w glebach położonych w jego bezpośrednim sąsiedztwie. Kalembasa i Majchrowska-Safaryan [2008] podają, że w glebach uprawnych Wysoczyzny Siedleckiej, wytworzonych z utworów piaszczystych (poziomy powierzchniowe i skały macierzystej), zawartość pierwiastków śladowych układała się w szeregu: $Fe > Al > Mn > Ti > Co > Li$.

Analiza statystyczna uzyskanych wyników wykazała wiele zależności korelacyjnych pomiędzy badanymi parametrami (tab. 4). W badanych glebach antropogenicznych stwierdzono wysoce istotną i istotną zależność pomiędzy zawartością ogólną większości makroelementów i pierwiastków śladowych. W glebach tych zanotowano także wysoce istotny dodatni wpływ odczynu gleby na zawartość ogólną K, Ca, Mg, Na, Ba i Sr; pojemności sorpcyjnej gleby (T) – na zawartość ogólną Ca, Mg, Fe, Al, Mn, Ba i Sr; węgla związków organicznych (C_{org}) – na zawartość ogólną Co, Ba i Sr oraz frakcji ilowej

($\phi < 0,002$ mm) – na zawartość ogólną Mn, Li, V i As. Kalembara i Majchrowska-Safaryan [2008] stwierdzili, w poziomach mineralnych gleb Wysoczyzny Siedleckiej, wytworzonych z piasków lodowcowych i polodowcowych różnej genezy, istotne zależności pomiędzy zawartością ogólną: Al i Ti, Co, Li oraz Co i Fe, Mn, C_{org} , a także wpływ frakcji ilowej na zawartość ogólną Li. Kabata-Pendias i Pendias [1999] podają, że obieg pierwiastków w środowisku glebowym zależy od składu mineralogicznego skały macierzystej, odczynu, zawartości glebowej materii organicznej, obecności koloidów mineralnych i składu granulometrycznego gleby.

4. WNIOSKI

1. W badanych glebach antropogenicznych położonych na terenie składowiska odpadów komunalnych w Woli Suchożebrskiej koło Siedlec, na Wysoczyźnie Siedleckiej, stwierdzono zróżnicowaną zawartość ogólną makroelementów i pierwiastków śladowych, układającej się w następującym szeregu malejących średnich wartości: Ca > K > Mg > P > Na oraz Al > Fe > Mn > Ti > Ba > Sr > V > Li > As > Co.
2. Właściwości i skład chemiczny badanych gleb nie wykazywał ujemnego oddziaływania składowiska odpadów komunalnych na środowisko glebowe, co wskazuje na dobre jego uszczelnienie przed toksycznymi odciekami.
3. Analiza chemiczna wykazała, że zawartość badanych pierwiastków śladowych w poziomach powierzchniowych gleb nie przekraczała wartości charakterystycznych dla utworów piaszczystych, co wskazuje na mały wpływ antropopresji na badanym terenie.
4. Obliczenia statystyczne potwierdziły wzajemny wpływ większości analizowanych makroelementów i pierwiastków śladowych oraz wybranych właściwości gleby (pH, C_{org} , T, frakcji ilowej $\phi < 0,002$ mm) na ich akumulację i rozmieszczenie w badanych glebach.

PIŚMIENNICTWO I AKTY PRAWNE

- AHEL M., MIKAC N., COSOVIC B., PROHIC E., SOUKUP V. 1998. The impact of contamination from a municipal solid waste landfill (Zagreb, Croatia) on underlying soil. *Wat. Sci. Tech.* 37(8): 203–210.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1999. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. PWN, Warszawa.
- KALEMBASA D., JAREMKO D. 2006. Total content of lithium, barium and strontium in soils of South Podlasie Lowland. *Polish J. Environ. Stud.* 15(2a): 320–325.
- KALEMBASA D., MAJCHROWSKA-SAFARYAN A. 2007. Degradacja gleb na stoku morenowym Wysoczyzny Siedleckiej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 520: 83–92.
- KALEMBASA D., MAJCHROWSKA-SAFARYAN A. 2008. Zawartość wybranych pierwiastków w glebach na stoku morenowym. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 526: 179–184.

KALEMBASA S., KALEMBASA D. 1992. The quick method for the determination of C:N ratio in mineral soils. Polish J. Soil Sci. 25(1): 41–46.

Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych – PTG 2008. 2009. Roczn. Glebozn. 60(2): 5–16.

MELLER E., NIEDZWIEDZKI E., WOJCIESZCZUK T., MALINOWSKI R., SAMMEL A., OGRODOWCZYK M. 2005. Ocena stanu środowiska glebowego w strefie ochronny sanitarnej składowiska odpadów komunalnych w Stradzewie. Obieg pierwiastków w przyrodzie. Monografia 3, 98–102.

ROSIK-DULEWSKA CZ. 2005. Podstawy gospodarki odpadami. PWN, Warszawa.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz.U. z 2002 r. Nr 165, poz. 1359).