

Daniel Ochman*, Dorota Kawałko, Jarosław Kaszubkiewicz**,
Paweł Jezierski****

**ZAWARTOŚĆ ROZPUSZCZALNYCH KATIONÓW I ANIONÓW
W WYCIĄGACH WODNYCH Z GLEB ZASALANYCH WODAMI
POFLOTACYJNYMI INFILTRUJĄCYMI ZE SKŁADOWISKA
„ŻELAZNY MOST”**

**CONTENT OF SOLUBLE CATIONS AND ANIONS IN THE WATER
EXTRACTS FROM THE SALINE SOILS SUPPLIED WITH FLOTATION
WATER INFILTRATING FROM TAILINGS IMPOUNDMENT
„ŻELAZNY MOST”**

Słowa kluczowe: roztwór glebowy, gleby zasolone, składowisko osadów poflotacyjnych, górnictwo miedzi.

Key words: soil solution, salinity soils, tailings impoundment, copper mining.

Highly-mineralized flotation water infiltrating from the tailings impoundment “Żelazny Most” change significantly the composition and concentration of soil solution. In order to determine the content of the most common cations and anions which are not bound exchangeable with absorbing complex, water soil extracts in ratio water/soil 5:1 were prepared according to procedure proposed by Richards. The studies were conducted on 101 soil samples collected from 23 soil profiles located in the area of the tailings impoundment. The results showed that increased salinity caused by infiltration of flotation water modifies significantly the quantitative and qualitative composition of soil solutions. The determined correlation coefficients and the dependence diagrams showed that SAR (sodium adsorption ratio) and ESR (exchangeable sodium ratio) are significantly correlated both with the content of Na⁺ ions in soil solution and with the occurrence of exchangeable sodium in absorbing complex.

* *Dr inż. Daniel Ochman – Wydział Administracji, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. Witelona w Legnicy, ul. Sejmowa 5A, 59-220 Legnica; tel.: 76 723 22 02; e-mail: dochman@o2.pl*

** *Dr inż. Dorota Kawałko, dr hab. inż. Jarosław Kaszubkiewicz, dr inż. Paweł Jezierski – Instytut Nauk o Glebie i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław; tel.: 71 320 56 27; e-mail: pawel.jezierski@up.wroc.pl*

The values of SAR and ESR are strongly connected with the content of chloride ions in the soil solution. The increased values of SAR in some soil horizons indicate the higher risk of soil salinity in the area of tailings impoundment.

1. WPROWADZENIE

Naturalnie niski poziom okruszczenia polskich rud miedzi powoduje, że w procesach wzbogacania około 94% masy wydobytej rudy oddziela się jako odpad [Szopka 2003]. Przyjęta metoda uzyskiwania kruszcu w procesie flotacji wymaga składowania na mokro ogromnej masy materiału poflotacyjnego. Obecnie wszystkie odpady powstające podczas wzbogacania kierowane są na składowisko odpadów poflotacyjnych „Żelazny Most”. Jest to największy tego typu obiekt w Europie i jeden z największych na świecie [Chodak i in. 1997].

Zbiornik znajduje się w północno-zachodniej części województwa dolnośląskiego, na obszarze Niziny Środkowo-Polskiej, podprovincji Śląsko-Łużyckiej. Budowę składowiska rozpoczęto w 1974 r., a jego eksploatacja i równoczesna rozbudowa trwa od 1977 r. [Czaban i in. 2004]. Powierzchnia całkowita zbiornika wynosi 1394 ha (1670 ha wraz z obwałowaniem), a objętość składowanych odpadów to ponad 500 mln m³. Objętość całkowita składowiska do rzędnej 180 m wynosi 700 mln m³ [www.kghm.pl].

Gromadzenie odpadów na składowiskach powoduje z jednej strony wyłączenie z użytkowania znacznych powierzchni terenu, z drugiej – przyczynia się do wielokierunkowych ujemnych zmian w środowisku [Krajewski i in. 1998]. Głównymi czynnikami ograniczającymi możliwe sposoby zagospodarowania obszarów w otoczeniu składowiska odpadów poflotacyjnych „Żelazny Most” są zjawiska zasalania gleb, związane z przedostawaniem się na przedpola słonych wód nadosadowych retencjonowanych w zbiorniku, oraz podwyższone zawartości metali ciężkich w glebach [Ochman 2005].

Wprowadzenie soli do gleby niekorzystnie modyfikuje jej właściwości fizyczne i fizykochemiczne głównie poprzez wyraźne zmiany składu roztworu glebowego, wzrost wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami oraz zachwianie równowagi jonowej. Typowy dla naszych warunków układ kationów zasadowych w glebie $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^{+} > \text{Na}^{+}$ zostaje zakłócony poprzez zwiększenie udziału sodu.

Aby określić wpływ zasolenia na gleby nie wystarcza określenie ogólnej zawartości soli, wyrażonej w mg·kg⁻¹, głównie ze względu na różną pojemność wodną gleb w stanie pełnego nasycenia. Dlatego autorzy poruszający w swoich pracach problem zasolenia [Richards 1954] stosują do określenia jego poziomu pomiar przewodnictwa elektrycznego właściwego w temperaturze 25°C (EC_e) wyrażonego w $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ lub $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$. Pomiaru EC_e dokonuje się w paście glebowej, zawiesinie lub przesączu glebowym [Chodak i in.1997].

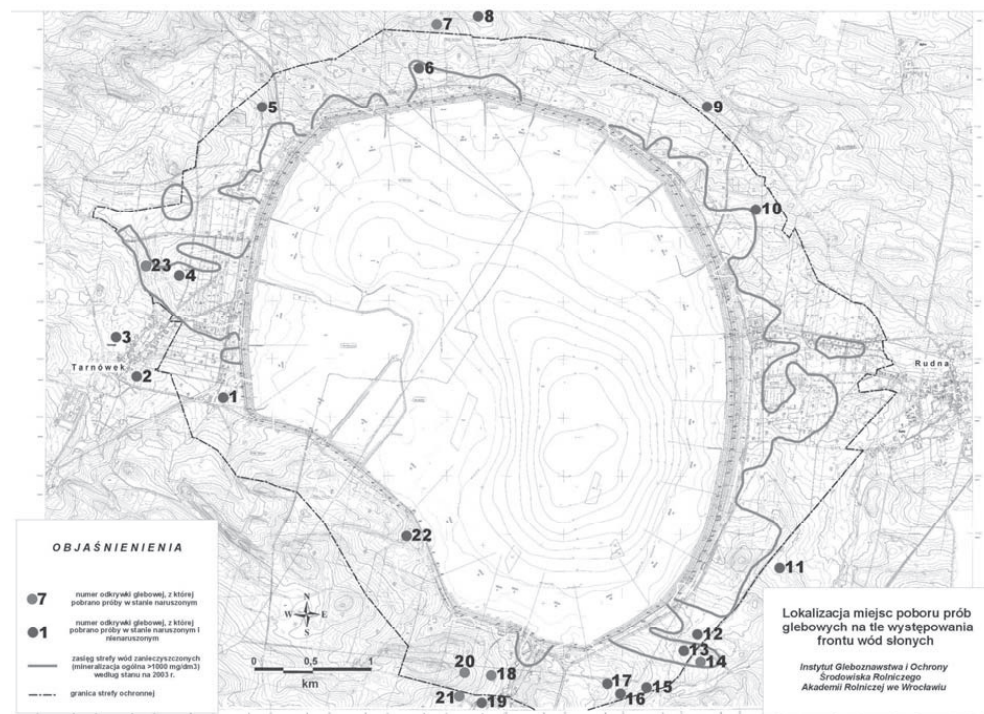
Wskaźnik ten nie opisuje jednak składu jonowego znajdujących się w glebie soli, a w szczególności udziału jonów Na^{+} , mających największy wpływ na właściwości gruntów

słonnych. Aby dokładniej scharakteryzować wpływ jonów sodowych na gleby oblicza się stopień adsorpcji sodu SAR (sodium adsorption ratio), wyrażający względną aktywność jonów sodu w reakcjach wymiany przy oddziaływaniu wody na glebę, udział sodu wymiennego ESR (exchangeable sodium ratio) oraz procentowy udział sodu wymiennego ESP (exchangeable sodium percentage) [Richards 1954]. Im wyższy jest stopień adsorpcji sodu (SAR), tym łatwiejsze przechodzenie Na^+ do kompleksu sorpcyjnego.

2. MATERIAŁY I METODY

Badania prowadzone nad hydrologicznym oddziaływaniem składowiska odpadów poliflotacyjnych „Żelazny Most” na okoliczne gleby obejmowały trzy zasadnicze etapy, do których należały prace inwentaryzacyjne, polowe oraz analizy laboratoryjne.

Na wytypowanych obszarach zostały wykonane 23 odkrywki glebowe i dokładnie opisana morfologia profili ze szczególnym uwzględnieniem obecności śladów oglejenia, kongrecji żelazisto-manganowych, struktury oraz barwy gleby suchej i wilgotnej. Następnie pobrano z poszczególnych poziomów 101 prób glebowych. Lokalizację miejsc poboru prób glebowych przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Lokalizacja obszarów poboru prób

Fig. 1. Location of sampling areas

W pobranych próbach oznaczono między innymi:

- 1) skład granulometryczny – metodą areometryczno-sitową Bouyoucosa w modyfikacji Casagrande'a i Prószyńskiego;
- 2) odczyn gleby w H_2O , 1M KCl oraz 0,01M $CaCl_2$ – potencjometrycznie;
- 3) przewodnictwo elektryczne konduktometrem Slandi CM 204 w wyciągu wodnym o proporcji wody do gleby jak 5:1, przeliczając następnie przewodnictwo elektryczne właściwe na zawartość łatwo rozpuszczalnych soli na podstawie krzywej wzorcowej dla chlorku potasu;
- 4) przewodnictwo elektryczne konduktometrem Slandi CM 204 w paście glebowej w stanie saturacji,
- 5) kwasowość hydrolityczną metodą Kappena;
- 6) zawartość kationów zasadowych (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) metodą Pallmanna.

Na podstawie wyników analiz kwasowości hydrolitycznej i sumy kationów zasadowych obliczono stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi (V) oraz całkowitą pojemność sorpcyjną (T).

W celu oznaczenia zawartości najczęściej spotykanych kationów i anionów niezwiązanych wymiennie z kompleksem sorpcyjnym gleb przygotowano wyciągi wodne z gleb o stosunku wody do gleby jak 5:1, stosując metodykę zaproponowaną przez Richardsa [1954].

Następnie otrzymane zawiesiny przesączono i w otrzymanym przesączu zmierzono:

- 1) zawartość kationów Ca^{2+} , Na^+ , K^+ przy użyciu fotometru płomieniowego;
- 2) zawartość kationów Mg^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{3+} z zastosowaniem atomowego spektrofotometru absorpcyjnego;
- 3) zawartość anionów Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- przy użyciu chromatografu jonowego HPLC;
- 4) HCO_3^- , CO_3^{2-} metodą miareczkową 0,1-molowym H_2SO_4 .

Wyniki pomiarów dla kationów wyrażono w $cmol(+) \cdot dm^{-3}$ wyciągu, natomiast dla anionów w $cmol(-) \cdot dm^{-3}$. Zmierzone zawartości jonów Na^+ posłużyły następnie do obliczenia stopnia adsorpcji sodu (SAR – sodium adsorption ratio) charakteryzującego względną aktywność jonów sodu w reakcjach wymiany oraz udziału sodu wymiennego (ESR – exchangeable sodium ratio):

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

gdzie:

Na^+ – zawartość jonów sodu w roztworze glebowym, $mmol \cdot dm^{-3}$,

Ca^{2+} – zawartość jonów wapnia w roztworze glebowym, $mmol \cdot dm^{-3}$,

Mg^{2+} – zawartość jonów magnezu w roztworze glebowym, $mmol \cdot dm^{-3}$.

$$ESR = \frac{Na^+}{T - Na^+}$$

gdzie:

Na^+ – zawartość jonów sodu w kompleksie sorpcyjnym, $cmol(+) \cdot kg^{-1}$,

$T = (CEC)$ – całkowita pojemność kompleksu sorpcyjnego, $cmol(+) \cdot kg^{-1}$.

WYNIKI I DISKUSJA

Wśród badanych kationów największe stężenie wykazywały jony Ca^{2+} . W 69 poziomach jego wartość była największa i wahała się w przedziale od $0,0039 cmol(+) \cdot dm^{-3}$ w poziomie IIBr profilu nr 8 do $0,7843 cmol(+) \cdot dm^{-3}$ w poziomie IICggsa, osiągając średnią wartość $0,1054 cmol(+) \cdot dm^{-3}$ we wszystkich badanych utworach. Drugim pod względem stężenia kationem, występującym w roztworze glebowym, był jon Na^+ . Jego zawartość była najniższa w poziomie AC profilu nr 19 ($0,0051 cmol(+) \cdot dm^{-3}$), najwyższa natomiast w poziomie Gsa poziomu nr 23 ($0,7871 cmol(+) \cdot dm^{-3}$). Wysoka zawartość jonów sodowych świadczy o naruszeniu naturalnego układu kationów zasadowych w roztworach glebowych, w których dla większości gleb klimatu umiarkowanego dominują jony wapnia, następnie magnezu i potasu. W 89 badanych próbach zawartość kationów sodu przekraczała zawartość kationów potasu, w 66 próbach – kationów magnezu, a w 27 próbach jego stężenie

Tabela. Współczynniki korelacji pomiędzy zawartością kationów i anionów w wyciągach wodnych a wybranymi właściwościami fizycznymi i fizykochemicznymi badanych gleb

Table. The correlation coefficients between the content of cations and anions in water extracts and selected physical and physico-chemical properties of studied soils

| Zmienne | pH, 1M KCl | Zasolenie 1:5, $mg \cdot kg^{-1}$ | SAR | Udział Ca^{2+} w KS, % | Udział Mg^{2+} w KS, % | Udział K^+ w KS, % | Udział Na^+ w KS, % | S $cmol(+) \cdot kg^{-1}$ | T $cmol(+) \cdot kg^{-1}$ | V % |
|-------------------|------------|-----------------------------------|--------|--------------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|--------|
| Ca^{2+} | 0,304 | 0,902 | 0,601 | 0,191 | 0,124 | -0,051 | 0,566 | 0,443 | 0,443 | 0,354 |
| Mg^{2+} | 0,229 | 0,745 | 0,376 | 0,110 | 0,382 | 0,006 | 0,329 | 0,385 | 0,385 | 0,283 |
| K^+ | 0,272 | 0,651 | 0,428 | 0,151 | 0,122 | 0,444 | 0,370 | 0,296 | 0,303 | 0,294 |
| Na^+ | 0,145 | 0,946 | 0,951 | 0,059 | 0,008 | -0,129 | 0,909 | 0,271 | 0,270 | 0,284 |
| Mn^{2+} | -0,061 | 0,493 | 0,168 | -0,099 | -0,111 | 0,105 | 0,251 | 0,037 | 0,061 | -0,051 |
| Fe^{3+} | -0,372 | -0,277 | -0,173 | -0,270 | -0,233 | -0,135 | -0,193 | -0,224 | -0,195 | -0,370 |
| HCO_2^- | 0,344 | 0,135 | 0,008 | 0,325 | 0,011 | 0,049 | -0,081 | 0,370 | 0,370 | 0,293 |
| Cl^- | 0,126 | 0,922 | 0,885 | 0,033 | -0,070 | -0,116 | 0,904 | 0,199 | 0,194 | 0,238 |
| SO_4^{2-} | 0,098 | 0,813 | 0,528 | 0,022 | 0,269 | -0,063 | 0,511 | 0,284 | 0,286 | 0,215 |
| NO_3^- | 0,034 | -0,029 | -0,084 | -0,022 | 0,191 | 0,079 | -0,095 | -0,026 | -0,022 | -0,011 |
| Σ kationów | 0,246 | 0,979 | 0,777 | 0,133 | 0,123 | -0,070 | 0,734 | 0,394 | 0,393 | 0,341 |
| Σ anionów | 0,189 | 0,983 | 0,779 | 0,090 | 0,117 | -0,088 | 0,763 | 0,336 | 0,334 | 0,305 |

przewyższało nawet stężenie kationów Ca^{2+} . Pozwala to wnioskować, że podwyższone zasolenie spowodowane przesączaniem się wysokozmineralizowanych wód nadosadowych w znaczący sposób modyfikuje skład ilościowy i jakościowy roztworów glebowych. Wyliczone współczynniki korelacji (tab. 1) potwierdzają tę zależność, przy czym wysokie zasolenie najwyraźniej wpływa na zwiększenie zawartości jonów Na^+ w roztworze glebowym (współczynnik korelacji 0,946).

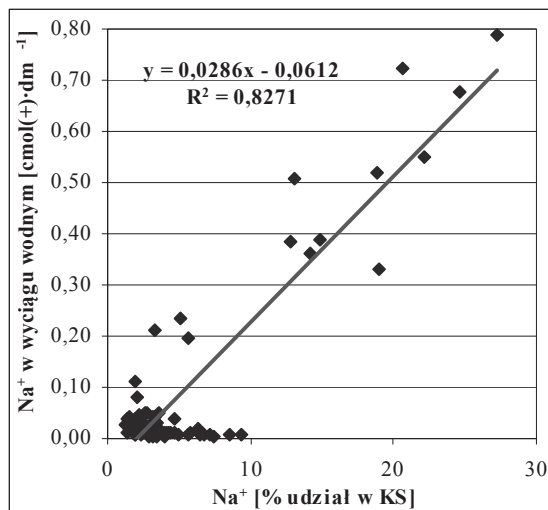
Pozostałe kationy takie, jak: Mg^{2+} , K^+ , Fe^{3+} i Mn^{2+} występują w roztworze glebowym w mniejszych ilościach.

Badanie zawartości anionów w roztworach wykazało znikome stężenia jonów CO_3^{2-} i NO_3^- . Wyciągi wodne zawierały najwięcej jonów HCO_3^- , Cl^- i SO_4^{2-} . Zawartość anionów HCO_3^- wahała się w granicach od 0,0400 $\text{cmol}(-)\cdot\text{dm}^{-3}$ w poziomie Bbr profilu nr 7 do 0,7598 $\text{cmol}(-)\cdot\text{dm}^{-3}$ w poziomie Adsa profilu nr 2, osiągając średnią zawartość – 0,1265 $\text{cmol}(-)\cdot\text{dm}^{-3}$. Najwyższym stężeniem jonów chlorkowych odznaczał się zasolony poziom III Gsa profilu nr 15 (1,3093 $\text{cmol}(-)\cdot\text{dm}^{-3}$), najniższym natomiast – poziom Ees profilu nr 18 (0,0025 $\text{cmol}(-)\cdot\text{dm}^{-3}$). Średnia zawartość jonów Cl^- we wszystkich badanych utworach wyniosła 0,1017 $\text{cmol}(-)\cdot\text{dm}^{-3}$. Zawartość jonów siarczanowych przyjmowała wartości od 0,0016 $\text{cmol}(-)\cdot\text{dm}^{-3}$ (poziom Bbr profilu nr 17) do 1,9392 $\text{cmol}(-)\cdot\text{dm}^{-3}$ (poziom II Cggsa profilu nr 6). Dla wszystkich badanych prób średnie stężenie anionów SO_4^{2-} w wyciągach wynosiło 0,1068 $\text{cmol}(-)\cdot\text{dm}^{-3}$. Badania wykazały, że zawartość jonów chlorkowych i siarczanowych uzależniona była od stopnia zasolenia opisywanych poziomów glebowych. Świadczą o tym bardzo wysokie współczynniki korelacji pomiędzy tymi cechami (tab.). Podwyższone ładunki chlorków i siarczanów pochodzą, więc od słonych wód przesączających się ze składowiska odpadów poflotacyjnych.

W następnej kolejności zbadano zależności pomiędzy zawartością poszczególnych kationów zasadowych w wyciągach wodnych oraz ich udziałem w KS badanych gleb. Przeprowadzona analiza wyników wykazała istotny, liniowy związek (współczynnik korelacji na poziomie 0,909) pomiędzy zawartością jonów Na^+ w roztworze i jego udziałem w KS (tab. 1, rys. 2). Nie wykazano natomiast związku pomiędzy zawartością Ca^{2+} w wyciągu i kompleksie sorpcyjnym (tab. 1, rys. 3). Wynika stąd, że stopień wysycenia KS jonami sodowymi gwałtownie wzrasta w wyniku wzbogacenia roztworu glebowego w ten kation. Brak zależności pomiędzy zawartością Ca^{2+} w roztworze i KS można tłumaczyć z kolei tym, że w warunkach podwyższonego stężenia roztworu glebowego ruchliwość kationu wapnia jest ograniczona i dodatkowo jest on wypierany z KS przez konkurencyjne w tych warunkach jony Na^+ znajdujące się w roztworze glebowym.

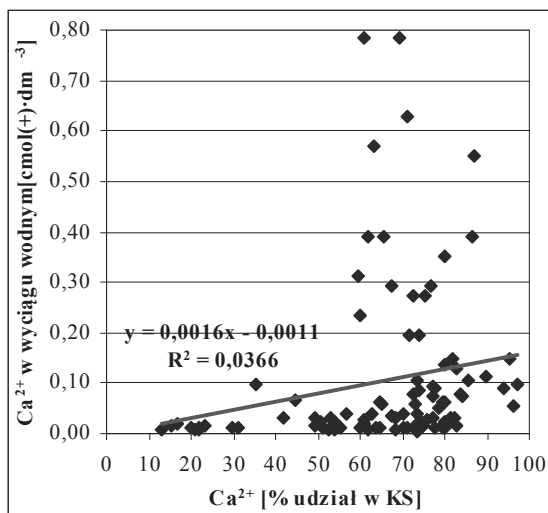
Korzystając z wyników badań właściwości sorpcyjnych gleb oraz zawartości rozpuszczalnych kationów i anionów w wyciągach wodnych, obliczono stopień adsorpcji sodu (SAR) oraz udział sodu wymiennego (ESR) w badanych utworach glebowych.

W badanych próbach wartość wskaźnika SAR wahała się w szerokich granicach – od 0,1380 w poziomie II G profilu nr 16 do 4,9864 w zasolonym poziomie Gsa profilu nr 26,



Rys. 2. Zależność pomiędzy zawartością jonów sodu w wyciągu glebowym a procentowym udziałem sodu w KS badanych gleb

Fig. 2. The dependence between the content of sodium ions in soil extract and the percentage of sodium in absorbing complex of studied soils



Rys. 3. Zależność pomiędzy zawartością jonów wapnia w wyciągu glebowym a procentowym udziałem wapnia w KS badanych gleb

Fig. 3. The dependence between the content of calcium ions in soil extract and the percentage of calcium in absorbing complex of studied soils

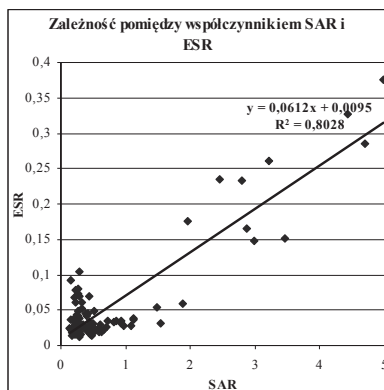
osiągając średnią dla wszystkich badanych utworów glebowych na poziomie 0,7465. Dość wysokie (powyżej 2) wartości wskaźnika SAR w większości poziomów profili nr 13, 14, 15 oraz 23 wskazują, że na obszarach tych istnieje ryzyko zasolenia gleb. Potwierdzają to badania zawartości łatwo rozpuszczalnych soli. W wymienionych poziomach odnotowano bowiem najwyższe wartości przewodnictwa elektrycznego. Najwyższą wartość ESR odnotowano w poziomie Gsa profilu nr 23 (0,3751), najniższą – w poziomie IIIg profilu nr 4 (0,0129). Średni udział sodu wymiennego wynosił 0,0552.

Tabela 2. Współczynniki korelacji pomiędzy stopniem adsorpcji sodu (SAR) oraz udziałem sodu wymiennego (ESR) a wybranymi właściwościami fizykochemicznymi badanych gleb

Table 2. The correlation coefficients between the sodium adsorption ratio (SAR) and exchangeable sodium ratio (ESR) and selected physico-chemical properties of studied soils

| Zmienne | pH w 1M KCl | Zasol. 1:5, mg·kg ⁻¹ | Przewod. w paście, μS·cm ⁻¹ | Udział Ca ²⁺ w KS, % | Udział K ⁺ w KS, % | Udział Na ⁺ w KS, % | Na ⁺ | Cl ⁻ | Σ kationów | Σ anionów |
|---------|-------------|---------------------------------|--|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|------------|-----------|
| SAR | -0,526 | 0,736 | 0,798 | -0,637 | -0,108 | 0,939 | 0,948 | 0,850 | 0,636 | 0,643 |
| ESR | -0,548 | 0,783 | 0,846 | -0,685 | -0,043 | 0,997 | 0,941 | 0,910 | 0,657 | 0,686 |

Wyliczone współczynniki korelacji przedstawione w tabeli 2 wykazały, iż wartość wskaźników SAR i ESR jest istotnie skorelowana zarówno z ilością jonów Na⁺ w roztworze glebowym, jak i z udziałem sodu wymiennego w kompleksie sorpcyjnym. Przeprowadzone analizy wykazały również, że zwiększenie stopnia wysycenia kompleksu sorpcyjnego wapniem i podwyższenie pH wpływają na obniżenie stopnia adsorpcji sodu i zmniejszenie udziału

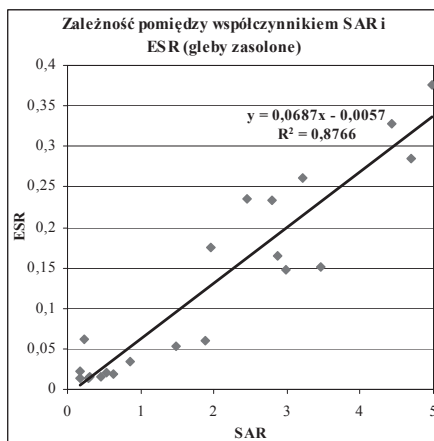


Rys. 4. Zależność pomiędzy stopniem adsorpcji sodu (SAR) a udziałem sodu wymiennego (ESR) we wszystkich badanych poziomach glebowych

Fig. 4. The dependence between the sodium adsorption ratio (SAR) and exchangeable sodium ratio (ESR) in all soil horizons studied

sodu wymiennego. Wykazano również, że wartość współczynników SAR i ESR jest silnie związana z zawartością jonów chlorkowych w roztworze glebowym. Potwierdza to fakt, iż większość kationów sodu w badanych glebach pochodzi od NaCl.

Badania Richardsa [1954] wykazały istotną zależność liniową pomiędzy stopniem adsorpcji sodu (SAR) i udziałem sodu wymiennego (ESR). Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono te zależności osobno dla wszystkich analizowanych prób (rys. 4) oraz prób zasolonych (rys. 5). Z przebiegu linii regresji oraz wyliczonych współczynników determinacji wynika, że zależności pomiędzy SAR i ESR są najbardziej istotne dla prób zasolonych.



Rys. 5. Zależność pomiędzy stopniem adsorpcji sodu (SAR) a udziałem sodu wymiennego (ESR) w poziomach glebowych o podwyższonym zasoleniu

Fig. 5. The dependence between the sodium adsorption ratio (SAR) and exchangeable sodium ratio (ESR) in soil horizons with the higher salinity

4. WNIOSKI

1. Wysokozmineralizowane wody poflotacyjne infiltrujące ze składowiska „Żelazny Most” w znacznym stopniu zmieniają skład i stężenie roztworu glebowego. Zmienia się także skład ilościowy i jakościowy jonów luźno związanych z fazą stałą gleby (ekstrahowanych wodą).
2. Wysoka zawartość jonów sodowych w wyciągach wodnych z gleb świadczy o naruszeniu naturalnego układu kationów zasadowych w roztworach glebowych, w których dla większości gleb klimatu umiarkowanego dominują jony wapnia, następnie magnezu i potasu.
3. Wyliczone współczynniki korelacji oraz wykresy zależności wykazały, iż wartość wskaźników SAR i ESR jest istotnie skorelowana zarówno z ilością jonów Na⁺ w roztworze glebowym, jak i z udziałem sodu wymiennego w kompleksie sorpcyjnym.

4. Wartości współczynników SAR i ESR jest silnie związana z zawartością jonów chlorkowych w roztworze glebowym.
5. Podwyższone wartości stopnia adsorpcji sodu (SAR) w niektórych poziomach glebowych wskazują, że w rejonie składowiska istnieje wzmożone ryzyko zasolenia gleb.

PIŚMIENNICTWO

- CHODAK T., SZERSZEŃ L. 1997. Ocena stanu środowiska glebowego Dolnego Śląska. Geochemiczne, hydrochemiczne i biochemiczne zmiany środowiska przyrodniczego na obszarach objętych antropopresją. Materiały IV Konferencji Naukowej. AGH Kraków: 13–21.
- CZABAN S. i in. 2004. Ocena oddziaływania składowiska Żelazny Most na środowisko w 2003 roku. Przedsiębiorstwo Doradztwa i Wdrożeń „Arcanum” Sp. z o.o.
- KRAJEWSKI J., BASIŃSKA M., HORODECKI W. 1998. Problemy rekultywacji składowisk odpadów z flotacji rud miedzi. Rekultywacja i ochrona środowiska w rejonach górniczo-przemysłowych Cz. I Towarzystwo Przyjaciół Nauk w Legnicy. Legnica: 130–141.
- OCHMAN D. 2005. Zmiany właściwości fizycznych i fizykochemicznych gleb zachodzące pod wpływem wysokozmineralizowanych wód przesączających się ze składowiska odpadów poflotacyjnych Żelazny Most. Maszynopis. AR Wrocław.
- RICHARDS L.A. (red.). 1954. Saline and alkali soils – diagnosis and improvement. US Salinity Laboratory. USDA Agric. Handbook 60.
- SZOPKA K. 2003. Zawartość i rozpuszczalność wybranych metali ciężkich w osadach poflotacyjnych górnictwa miedzi. Obieg pierwiastków w przyrodzie. Monografia. Tom II. Instytut Ochrony Środowiska. Warszawa: 238–241.

www.kghm.pl