

Daniel Ochman\*, Paweł Jezierski\*\*

**WPŁYW SŁONYCH WÓD NADOSADOWYCH NA ZMIANY W OBSADZIE  
KOMPLEKSU SORPCYJNEGO GLEB W REJONIE SKŁADOWISKA  
ODPADÓW POFLOTACYJNYCH „ŻELAZNY MOST”**

**IMPACT OF SEDIMENTATION WATERS ON THE SOILS ABSORBING  
COMPLEX IN THE REGION OF „ŻELAZNY MOST” TAILINGS  
IMPOUNDMENT**

**Słowa kluczowe:** kompleks sorpcyjny, gleby zasolone, składowisko osadów poflotacyjnych, górnictwo miedzi.

**Key words:** absorbing complex, salinity soils, tailings impoundment, copper mining.

*Strongly dispersed colloidal solid phase, called absorbing complex causes sorption phenomenon in soils. The subject of this research was studying of exchangeable sorption between absorbing complex and soil solution and the effect of increased soil salinity on the composition of absorbing complex. The content of alkaline cations ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) in absorbing complex was determined. The total exchangeable bases, cation exchange capacity and degree of base saturation were calculated. The studied soils had higher content of sodium ions (especially their percentage content in absorbing complex) than in most of soils occurring in moderate climate. The disturbance in the absorbing complex were observed. The studies confirmed that increased content of sodium ions in absorbing complex was connected with increasing soils salinity in the area of tailings impoundment. The dependences between percentage content of sodium and calcium and percentage content of mono- and bivalent cations in absorbing complex of salinated and unsalinated were presented. The increase of salinity in the area of tailings impoundment causes the content of monovalent cations at the expense of bivalent cations. It confirmed the hypothesis that at high concentrations of ions in the soil solution the bivalent cations are displaced from absorbing complex by monovalent cations.*

\* 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. 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

## 1. WPROWADZENIE

Kopalnie i zakłady przerobcze rud miedzi są źródłem znacznej ilości odpadów poflotacyjnych i wód dołowych, a także powodują dewastację powierzchni ziemi (zajęcie wielkich obszarów pod składowiska i infrastrukturę techniczną) oraz przekształcenia geomechaniczne (osuwanie terenu, tąpnięcia) i hydrologiczne (zawodnienia, przesuszenia). Wpływają również na chemizm wód i gleb, szczególnie w wyniku przedostawania się do nich zanieczyszczonych, wysokozmineralizowanych wód oraz w wyniku pylenia z powierzchni składowisk [Eko-Miedź 2000]. Jednym z rejonów, gdzie obserwuje się oddziaływanie słonych wód gruntowo-glebowych jest otoczenie znajdującego się na Dolnym Śląsku i użytkowanego przez KGHM S.A. zbiornika osadów poflotacyjnych „Żelazny Most” [Czaban, Maślanka 1998; Aniełowski i in. 2000]. Ekspansja infiltracji ze składowiska zaburzyła naturalne warunki krążenia wód w jego otoczeniu, powodując rozszerzanie się strefy zmian hydrochemicznych wokół zbiornika. Słone wody gruntowo-glebowe wydostają się w niektórych miejscach na powierzchnię terenu [Aniełowski i in. 2000; Czaban, Maślanka 1998; Kalisz, Sierosławski 1998], intensywnie oddziałując na właściwości gleb.

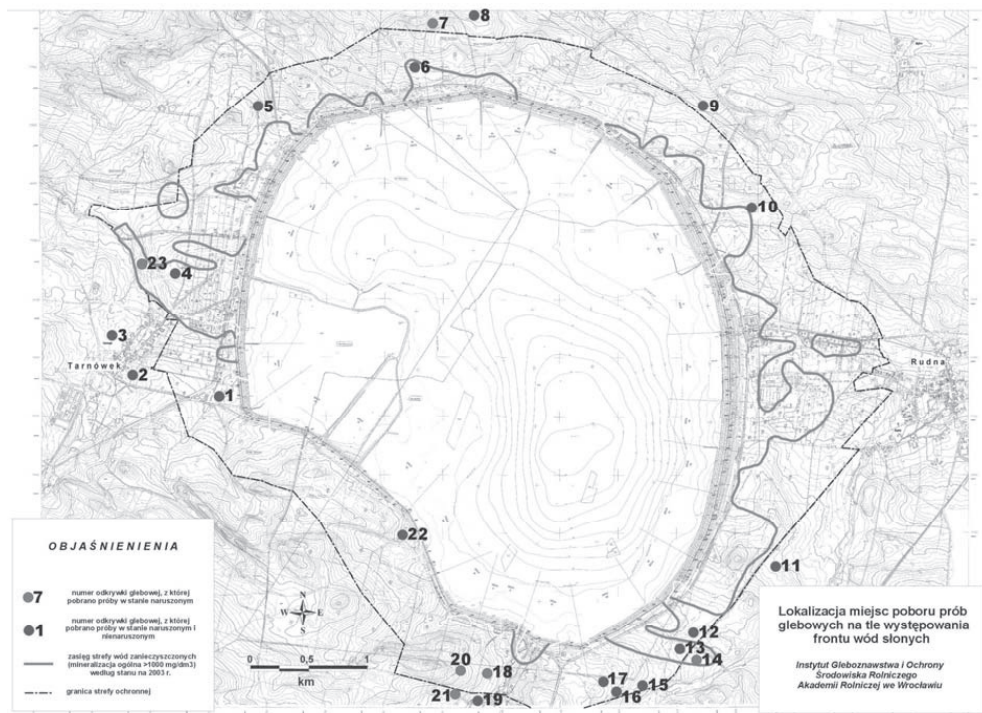
O zjawiskach sorpcyjnych zachodzących w glebach decyduje silnie zdyspergowana koloidalna faza stała, zwana sorpcyjnym kompleksem glebowym (KS) [Zawadzki S. i in. 1999]. Wprowadzenie zasolonych wód do gleby powoduje wyraźne zmiany składu roztworu glebowego [Ochman 2005], wzrost wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami oraz zachwianie równowagi jonowej [Filipek, Badora 1992]. Typowy dla naszych warunków układ kationów zasadowych w glebie  $Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > Na^+$  zostaje zakłócony poprzez wzrost udziału sodu [Kaszubkiewicz, Chodak 1999]. Sole sodowe wypierają z kompleksu sorpcyjnego wapń i magnez [Frąckowiak, Kuczyńska 1996] powodując, że zawartość jonów  $Na^+$  w kompleksie sorpcyjnym może dojść do 50 i więcej procent. Wypieranie kationów dwuwartościowych z kompleksu sorpcyjnego jest również przyczyną alkalizacji gleb [Filipek, Badora 1992], co w znacznym stopniu może ograniczyć przyswajalność niektórych składników pokarmowych, a ponadto może wpływać na wzrost toksyczności niektórych metali ciężkich oraz pogorszyć właściwości fizyczne gleby [Frąckowiak, Kuczyńska 1996].

W przedstawionej pracy skupiono się przede wszystkim na badaniu sorpcji wymiennej pomiędzy kompleksem sorpcyjnym gleb i roztworem glebowym oraz wpływu podwyższonego zasolenia gleb na obsadę KS. W tym celu określono zawartość kationów zasadowych ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ) w kompleksie sorpcyjnym. Następnie obliczono sumę kationów zasadowych (S), całkowitą pojemność sorpcyjną gleb (T) oraz stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami (V).

## 2. MATERIAŁY I METODY

Badania prowadzone nad hydrologicznym oddziaływaniem składowiska odpadów flotacyjnych „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 Standi CM 204 w wyciągu wodnym o proporcji wody do gleby jak 5:1, przeliczając następnie przewodnictwo elektryczne właści-

we na zawartość łatwo rozpuszczalnych soli na podstawie krzywej wzorcowej dla chloru potasu;

- 4) przewodnictwo elektryczne konduktometrem Slandi CM 204 w paście glebowej w stanie saturacji;
- 5) kwasowość hydrolityczną metodą Kappena;
- 6) zawartość kationów zasadowych ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) metodą Pallmanna.

Poszczególne kationy zasadowe oznaczono w wyciągu glebowym uzyskanym przez przemywanie gleby 1M roztworem chloru amonowego. Wyniki oznaczeń ilości kationów zasadowych przedstawiono w  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  gleby oraz jako procentowy udział poszczególnych kationów w kompleksie sorpcyjnym.

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

### 3. WYNIKI I DYSKUSJA

#### 3.1. Wymienne kationy zasadowe

W glebach nieprzemywanych 40-procentowym roztworem alkoholu etylowego we wszystkich badanych profilach w KS dominowały jony wapnia. Zawartość tych jonów wahała się w granicach od  $0,48 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  (13,22%) w poziomie IIBfeBv profilu nr 18 do  $74,80 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  (94,15%) w poziomie IIG profilu nr 1, osiągając średnią wartość dla wszystkich badanych prób na poziomie  $12,24 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  (65,66%). Najniższą zawartość jonów magnezu zaobserwowano również w poziomie IIBfeBv profilu nr 18 oraz w poziomie Bv profilu nr 21 i wynosiła ona  $0,10 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  (2,70%), najwyższą zaś – w poziomie IIGsa profilu nr 6 –  $10,86 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  (31,97%). Średnia zawartość jonów magnezu wynosiła  $1,45 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  (8,77%). Ilość jonów potasu kształtowała się od  $0,01 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  w poziomach C1 profilu 21 oraz poziomach IIBfeBv i IIC profilu nr 18 do  $1,24 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  (4,01%) w poziomie Ad profilu nr 10, a średnia ich zawartość we wszystkich badanych próbach wynosiła  $0,26 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  (1,85%). W analizowanych utworach zaobserwowano znacznie wyższą zawartość jonów sodu (w szczególności ich procentowy udział w KS) niż w większości gleb klimatu umiarkowanego. Ilość kationów sodu wynosiła od  $0,13 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  w poziomach C profilu nr 2 i IIBfeBv profilu nr 18 do  $6,70 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  (27,28%) w poziomie Gsa profilu nr 23. Średni udział jonów  $\text{Na}^+$  w KS we wszystkich próbach wynosił 4,91%. W 79 próbach glebowych bezwzględna, wyrażona w  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ , ilość jonów sodu była większa niż ilość jonów potasu, a w 20 próbach przewyższała nawet zawartość jonów magnezowych. Również procentowy udział jonów sodu w KS w większości prób (79) był wyższy niż udział jonów potasu, a w 21 próbach – niż jonów magnezu. Podwyższona zawartość jonów  $\text{Na}^+$  związana jest z postępującym zasoleniem gleb w otoczeniu zbiornika odpadów poflotacyj-

nych. Zależność tę potwierdzają zamieszczone w tabeli 1 wysokie współczynniki korelacji pomiędzy udziałem sodu w KS a przewodnictwem elektrycznym mierzonym w stanie saturacji (0,805) i zawartością łatwo rozpuszczalnych soli w  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (0,799) oraz wykres zależności przedstawiony na rysunku nr 2. Z przebiegu linii regresji wynika, że wraz ze wzrostem zasolenia rośnie procentowy udział jonów sodu w kompleksie sorpcyjnym. Wzrost ten jest najbardziej widoczny przy zasoleniu badanych gleb powyżej  $1000 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

Na uwagę zasługuje fakt, iż większość poziomów o stosunkowo niskim zasoleniu również wykazywało większe wysycenie KS sodem niż potasem. Można zatem przypuszczać, że dodatkowa ilość jonów sodu pochodzi w tym wypadku nie z bezpośredniego oddziaływania słonych wód nadosadowych, lecz z opadu pyłów wywiewanych ze składowiska odpadów poflotacyjnych lub też że poziomy te wykazywały wcześniej cechy podwyższonego zasolenia, ale zostały one przepłukane wodami opadowymi. W takiej sytuacji jony chlorkowe jako najbardziej mobilne zostały wymyte poza profil glebowy, stężenie roztworu glebowego spadło (zmniejszyło się zasolenie), a część silniej związanych jonów  $\text{Na}^+$  pozostała w obrębie kompleksu sorpcyjnego.

Ze względu na dużą zawartość jonów  $\text{Na}^+$  i podwyższone zasolenie w badanych próbach glebowych pięć spośród badanych poziomów spełniało kryteria dla gleb podtypu sołńców solonczakowatych i jeden dla podtypu sołńców typowych.

**Tabela 1.** Współczynniki korelacji pomiędzy procentową zawartością kationów zasadowych w KS a wybranymi właściwościami fizycznymi i fizykochemicznymi badanych gleb

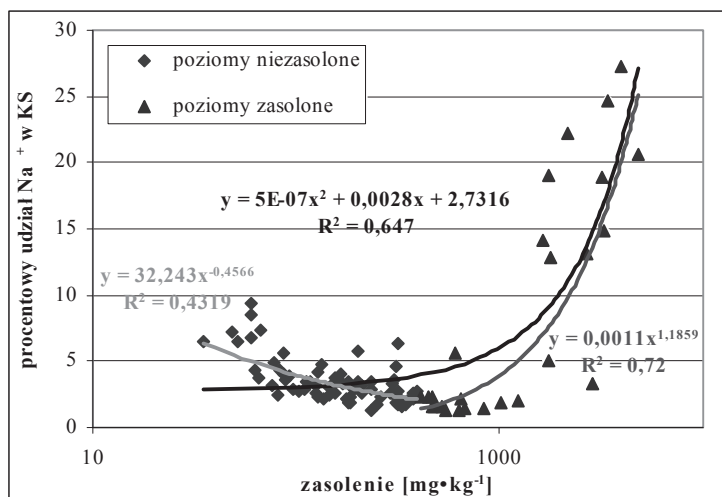
**Table 1.** The correlation coefficients between the percentage content of basic cations in the absorbing complex and selected physical and physico-chemical properties of studied soils

Zmienne	Zasolenie 1:5, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Przewodnictwo, w paście, $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	SAR	S, $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$	T, $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$	V, %
$\text{Ca}^{2+}$ w KS, %	0,113	0,158	0,079	0,564	0,521	0,935
$\text{Mg}^{2+}$ w KS, %	0,087	0,158	0,046	0,037	0,032	0,306
$\text{K}^+$ w KS, %	-0,092	-0,067	-0,126	-0,206	-0,206	0,107
$\text{Na}^+$ w KS, %	0,799	0,805	0,887	0,028	0,017	0,127

Badanie innych związków pomiędzy zawartością kationów wymiennych w KS i niektórymi właściwościami fizycznymi i fizykochemicznymi potwierdziło również zależność pomiędzy stopniem wysycenia kompleksu sorpcyjnego jonami  $\text{Ca}^{2+}$  a sumą kationów zasadowych, całkowitą pojemnością KS oraz stopniem wysycenia KS zasadami (tab. 1). Jon wapnia występujący w największej ilości w KS determinuje wielkość wymienionych cech.

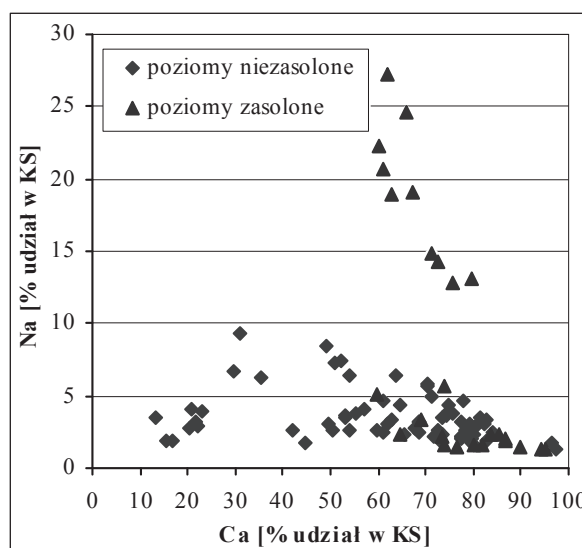
Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono również zależności pomiędzy procentowym udziałem jonów sodu i wapnia oraz procentowym udziałem kationów jedno- i dwuwartościowych w KS badanych gleb zasolonych i niezasolonych. W obu wypadkach wzrost zasolenia powoduje zwiększenie ilości kationów jednowartościowych kosztem dwuwartościowych. Do-

wodzi to tezy, że przy dużych stężeniach jonów w roztworze glebowym kationy dwuwartościowe są wypierane z KS przez jednowartościowe.



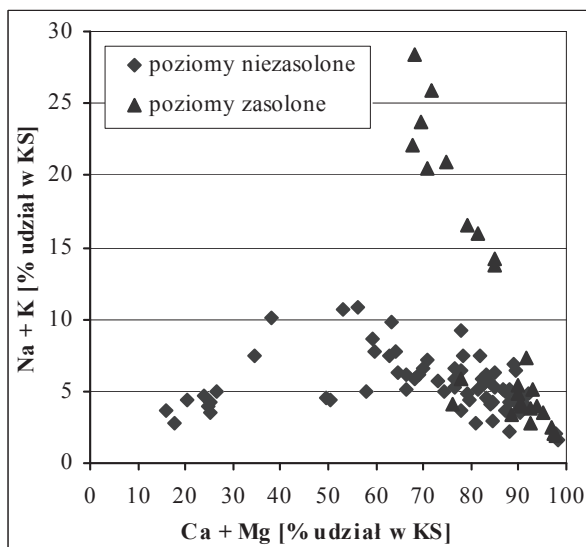
**Rys. 2.** Zależność pomiędzy procentowym udziałem sodu w KS a zasoleniem w badanych próbkach glebowych

**Fig. 2.** The dependence between the percentage content of sodium in the absorbing complex and the salinity of studied soils



**Rys. 3.** Zależność pomiędzy procentowym udziałem kationów sodu i wapnia w KS badanych gleb

**Fig. 3.** The dependence between the percentage content of sodium and calcium in the absorbing complex of studied soils



**Rys. 4.** Zależność pomiędzy procentowym udziałem kationów jedno- i dwuwartościowych w KS  
**Fig. 4.** The dependence between the percentage content of mono- and bivalent cations in the absorbing complex

### 3.2. Suma kationów zasadowych (S)

Suma kationów zasadowych we wszystkich badanych poziomach glebowych wahała się w bardzo szerokim zakresie. Najniższą sumą kationów odznaczał się poziom IIB-feBv profilu nr 18 ( $0,71 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ ). Był to poziom niezasolony, o silnie kwaśnym odczynie i składzie granulometrycznym piasków słabogliniastych. Najwyższą sumą kationów odznaczał się zaś poziom glejowy IIG profilu nr 1 wytworzony z gliny ciężkiej, odznaczający się podwyższonym zasoleniem i odczynem zasadowym. Ilość jonów zasadowych sorbowanych wymiennie wynosiła tutaj  $79,17 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ , a średnia suma kationów dla wszystkich badanych prób –  $14,77 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ .

Wyliczone współczynniki korelacji wykazały istotne zależności pomiędzy sumą kationów zasadowych a takimi cechami gleb, jak odczyn i skład granulometryczny (tab. 2). Podobne zależności są typowe dla większości utworów glebowych i są one opisywane przez wielu autorów. Dodatkowo stwierdzono, że wysokie zasolenie gleb wpływa również na zwiększenie ilości kationów wymiennych w kompleksie sorpcyjnym, co związane jest ze wzrostem całkowitej pojemności sorpcyjnej gleb bogatych w łatwo rozpuszczalne sole.

### 3.3. Całkowita pojemność sorpcyjna (T)

Średnia całkowita pojemność sorpcyjna dla wszystkich analizowanych prób wynosiła 16,29 cmol(+) $\cdot$ kg<sup>-1</sup>. Najwyższą całkowitą pojemnością sorpcyjną odznaczały się drobnoziarniste, zasolone i zasadowe warstwy glebowe, wśród których poziom glejowy IIG profilu nr 1 wykazywał się największą całkowitą pojemnością sorpcyjną – 79,45 cmol(+) $\cdot$ kg<sup>-1</sup>. Poziom C1 profilu nr 21 osiągnął najniższą całkowitą pojemność sorpcyjną. Wynosiła ona 1,54 cmol(+) $\cdot$ kg<sup>-1</sup>. Poziom C1 wytworzony był z niezasolonych, silnie kwaśnych piasków luźnych.

Zbadane zależności przedstawione w tabeli 2, ze względu na ścisły związek pomiędzy sumą kationów zasadowych i całkowitą pojemnością sorpcyjną badanych gleb, wykazywały istotne statystycznie korelacje zbliżone do tych, które obliczono dla sumy kationów zasadowych.

Dodatnia korelacja pomiędzy całkowitą pojemnością sorpcyjną i cechami charakteryzującymi zasolenie gleb wynika z faktu, iż podwyższone stężenie roztworu glebowego i jego alkalizacja, spowodowane obecnością łatwo rozpuszczalnych soli, sprzyja wzrostowi ujemnego ładunku cząstek koloidowych gleby i zwiększa jego pojemność sorpcyjną.

### 3.4. Stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi (V)

Zdecydowana większość badanych utworów odznaczała się wysokim stopniem wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami. Spośród wszystkich badanych poziomów 68 było wysyconych zasadami w ponad 80% i można je nazwać sorpcyjnie nasyconymi. Tak duży stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami jest bardzo korzystny dla wzrostu i rozwoju roślin, pod warunkiem jednak, że procentowy udział sodu nie jest wysoki (< 30%), i że inne właściwości fizyczne i fizykochemiczne gleb nie wykazują cech mogących negatywnie oddziaływać na rośliny. Wysokiemu stopniowi wysycenia KS kationami zasadowymi w większości badanych utworów sprzyjał obojętny i lekko kwaśny odczyn oraz ciężki skład granulometryczny. Zależności te obrazują współczynniki korelacji przedstawione w tabeli 2. Również podwyższona zawartość łatwo rozpuszczalnych soli miała wpływ na zwiększenie stopnia wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi.

Średnie wysycenie KS kationami zasadowymi dla wszystkich badanych prób wynosiło 81,18%. Najniższą jego wartość zaobserwowano w wytworzonym z silnie kwaśnych, słabogliniastych piasków poziomie IIBfeBv profilu nr 18 (19,56%), najwyższą natomiast – w oglejonym poziomie IICgg profilu nr 22 (99,95%). Badane profile glebowe charakteryzuje wspólna zależność wzrostu wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi w głąb profilu glebowego, gdzie najwyższą wartość uzyskiwały poziomy genetyczne najniżej położone.



**Tabela 2.** Współczynniki korelacji pomiędzy sumą kationów zasadowych w KS, całkowitą pojemnością sorpcyjną oraz stopniem wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi a wybranymi właściwościami fizycznymi i fizykochemicznymi badanych gleb

**Table 2.** The correlation coefficients between the total exchangeable bases, cation exchange capacity percentage and degree of base saturation content and selected physical and physico-chemical properties of studied soils

Zmienne	Zasolenie 1:5, mg·kg <sup>-1</sup>	Przewodnictwo w paście, μS·cm <sup>-1</sup>	pH w 1M KCl	Zaw. części sypawianych, %	S <sub>e</sub> , cmol(+)-kg <sup>-1</sup>	T <sub>e</sub> , cmol(+)-kg <sup>-1</sup>	V, %
S <sub>e</sub> , cmol(+)-kg <sup>-1</sup>	0,366	0,398	0,420	0,603	X	0,997	0,539
T <sub>e</sub> , cmol(+)-kg <sup>-1</sup>	0,364	0,394	0,368	0,610	0,997	X	0,494
V, %	0,328	0,392	0,739	0,425	0,539	0,494	X

#### 4. WNIOSKI

1. Negatywny wpływ składowiska odpadów poflotacyjnych „Żelazny Most” na środowisko glebowe przejawia się głównie w oddziaływaniu zasadowych, wysokozmineralizowanych wód infiltrujących na przedpole składowiska, powodując wzrost zasolenia gleb, oraz w opadzie pyłów wywiewanych z czaszy zbiornika.
2. Analizowane utwory charakteryzowała znacznie wyższa zawartość jonów sodu (w szczególności ich procentowego udziału w KS) niż większość gleb klimatu umiarkowanego. Obserwowano zaburzenie równowagi w kompleksie sorpcyjnym gleb. Procentowy udział jonów sodu w KS w większości wypadków był wyższy niż udział jonów potasu, a często również – niż udział jonów magnezu. Badania potwierdziły, że podwyższona zawartość jonów Na<sup>+</sup> w kompleksie sorpcyjnym związana była z postępującym zasoleniem gleb w otoczeniu zbiornika odpadów poflotacyjnych.
3. Wzrost zasolenia powoduje zwiększenie ilości kationów jednowartościowych kosztem kationów dwuwartościowych. Potwierdziło to tezę, że przy dużych stężeniach jonów w roztworze glebowym kationy dwuwartościowe są wypierane z KS przez kationy jednowartościowe.
4. Zasolenie gleb wywołane przedostawaniem się poza obszar składowiska wysokozmineralizowanych wód poflotacyjnych miało wpływ na wzrost sumy kationów zasadowych, całkowitej pojemności sorpcyjnej oraz stopnia wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami.

## PIŚMIENNICTWO

ANGEŁOW Z., CHODAK T., KABAŁA C., KASZUBKIEWICZ J., SZERSZEŃ L. 2000. Oddziaływanie zbiornika odpadów poflotacyjnych Żelazny Most na otaczające środowisko glebowe. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu CCCXVII (56): 327–339.

CZABAN S., MAŚLANKA W. 1998. Hydrologiczne i geotechniczne problemy eksploatacji składowiska odpadów poflotacyjnych Żelazny Most. Monografia TPN pt.: Rekultywacja i ochrona środowiska w rejonach górniczo-przemysłowych: 73–91.

EKO-MIEDŹ. 2000. KGHM Polska Miedź S.A. Stowarzyszenie Ochrony Środowiska BMS Ekologia. Monografia. Wrocław.

FILIPEK T., BADORA A. 1992. Jony rozpuszczalne w wodzie w glebach zanieczyszczonych środkami do zwalczania śliskości pośniegowej. Roczniki Gleboznawcze. Polskie Towarzystwo Gleboznawcze. Warszawa. XLIII (3/4): 37–43.

FRAĆKOWIAK H., KUCZYŃSKA I. 1996. Wpływ nawodnień zasolonymi wodami górnej Noteci na niektóre właściwości fizykochemiczne organicznych gleb łąkowych. Roczniki Gleboznawcze. Polskie Towarzystwo Gleboznawcze. Warszawa. XLVII (3/4): 75–82.

KALISZ M., SIEROŃ H. 1998. Analiza zmian hydrodynamicznych i hydrochemicznych wód podziemnych w otoczeniu składowiska Żelazny Most. CBM Cuprum. Wrocław.

KASZUBKIEWICZ J., CHODAK T. 1999. Przebieg zmian właściwości chemicznych gleb zalanych wodami technologicznymi z kopalni rud miedzi. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Rolnictwo. Wrocław. LXXIV (367): 93–108.

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.

ZAWADZKI S. i in. 1999. Gleboznawstwo – podręcznik dla studentów. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne. Warszawa.