

JAROSŁAW KASZUBKIEWICZ, EWA PORA,  
MATEUSZ CUSKE, ELŻBIETA MUSZTYFAGA\*

**PRZEBIEG ZMIAN ZASOLENIA W GLEBACH ZALANYCH  
WODAMI NADOSADOWYMI ZE ZBIORNIKA ODPADÓW  
POFLOTACYJNYCH ŻELAZNY MOST**

*Streszczenie*

*W pracy przedstawiono wyniki badań nad zasoleniem gleb zalanych wodami nadosadowymi w wyniku awarii podziemnego rurociągu pomiędzy miejscowościami Żuków i Bieńków. W wyniku zalania nastąpił wzrost zasolenia gleb. W celu określenia postępu odsalania badania przeprowadzono powtórnie rok po awarii.*

Słowa kluczowe: zasolenie gleb, wody nadosadowe

**WSTĘP**

Zasolenie i odsalanie gruntów to złożone procesy, które mogą mieć charakter antropogeniczny lub naturalny [Zhou i in. 2012]. Aby ocenić tempo procesów zasolenia lub odsalania, a także zmian właściwości gleby należy prowadzić monitoring gleb w czasie [Herrero, Pe' rez-Coveta 2005]. Zasolenie występujące w glebie lub wodzie, jest jednym z najpoważniejszych czynników środowiskowych ograniczających wydajność upraw rolnych [Shamim, Akae 2009]. Ogólne działanie zasolenia na rośliny objawia się zmniejszeniem szybkości wzrostu oraz ilości i wielkości liści [Shannon, Grieve 1999].

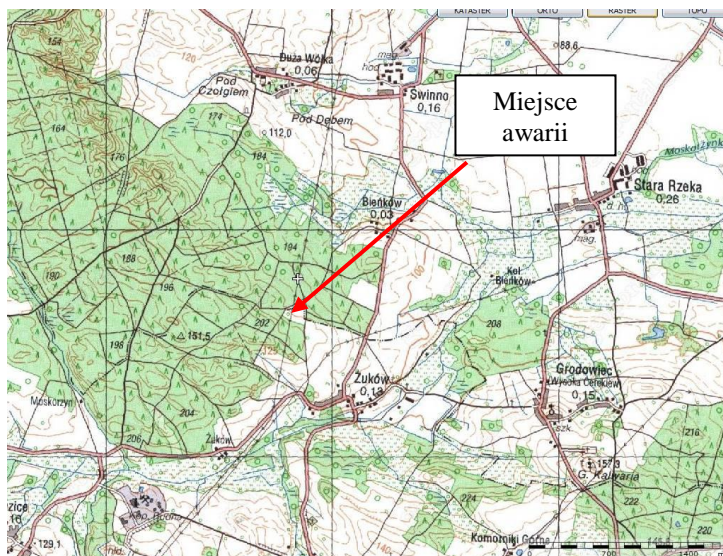
Problem zasolenia środowiska glebowego może się pojawić w rezultacie skażenia środowiska zasolonymi odpadami przemysłowymi [Kaszubkiewicz, Chodak 1999]. Podczas procesu górniczej eksploatacji rud miedzi konieczne jest usuwanie z kopalni dużych ilości wód dołowych [Milićević i in. 2013]. Awaria rurociągu transportującego wody technologiczne z kopalni skutkuje zasoleniem gleb [Kaszubkiewicz i in. 2010].

---

\* Instytut Nauk o Glebie i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

## OBIEKT I METODY BADAŃ

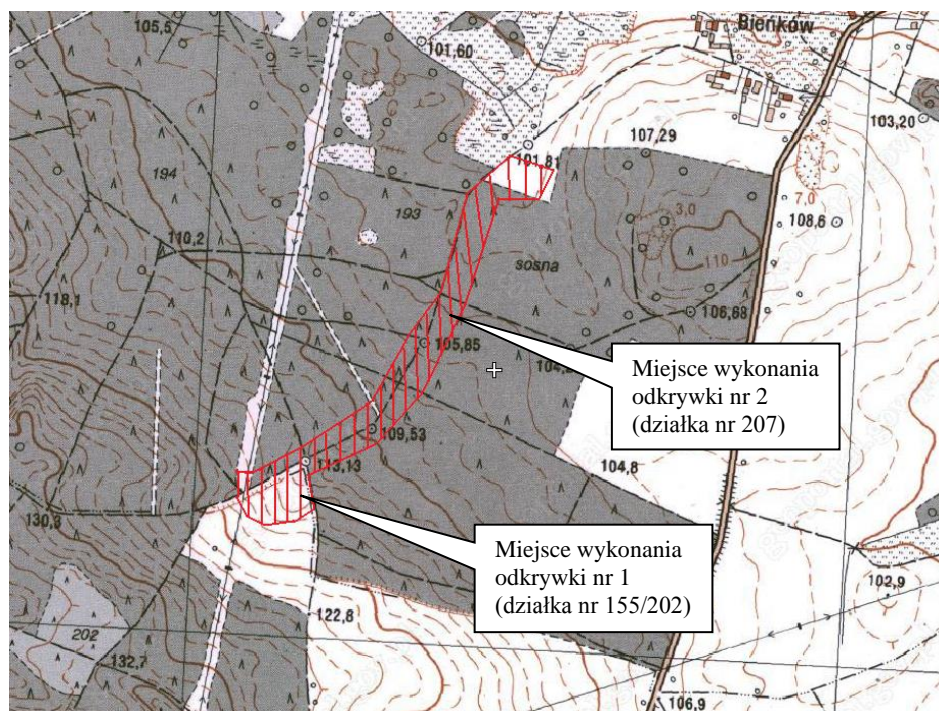
Badania przeprowadzono po awarii, do której doszło w dniu 5 czerwca 2012 roku pomiędzy miejscowościami Żuków i Bieńków w powiecie polkowickim, w województwie dolnośląskim. W wyniku pęknięcia podziemnego rurociągu wód nadosadowych o średnicy 700 mm, wydostały się zasolone wody w ilości ok. 600 m<sup>3</sup>. Zalaniu uległy grunty w użytkowaniu leśnym należące do Nadleśnictwa Głogów. Powierzchnię zalanego obszaru oceniono w trakcie badań terenowych na około 28 000 m<sup>2</sup>. Obszar zalany obejmował fragmenty działek o numerach 169/193; 168/194; 155/202; 207.



Mapa 1. Lokalizacja rejonu awarii  
Map 1. Location area of failure

Badania terenowe przeprowadzono w dwóch etapach. W ramach etapu I w dniu 10.04.2012r. wykonano: wizję terenu, określono granie terenu zalanego wodami kopalnianymi, wykonano 2 odkrywki glebowe (nr 1 i 2) na działkach o numerach 155/202 i 207, opisano odsłonięte profile glebowe i z wydzielonych poziomów genetycznych pobrano próbki do analiz. Położenie odkrywek, określano za pomocą techniki GPS.

W celu weryfikacji zasolenia gleb w dniu 17.04.2013r. przeprowadzono etap II. Lokalizacja wykonanych 2 odkrywek glebowych (nr 1' i 2') oraz zakres prac były takie same jak w etapie I. Lokalizację odkrywek glebowych, miejsca awarii oraz zasięg obszaru zalanego przedstawiono na mapach nr 1 i 2.



Mapa 2. Zasięg obszaru zalanego oraz lokalizacja wykonanych odkrywek glebowych  
 Map 2. Coverage flooded area and location of soil opencasts

Pobrane w trakcie badań terenowych próbki gleby wysuszono w warunkach temperatury pokojowej, a następnie przesiano przez sита o średnicy oczek 20 mm, 2 mm i 1 mm w celu określenia udziału części szkieletowych w kładzie granulometrycznym.

W przygotowanym materiale glebowym wykonano następujące analizy:

- odczyn gleby: pH w wodzie i w 1M KCl – metodą potencjometryczną,
- przewodnictwo właściwe (zasolenie) konduktometrycznie - zgodnie z normą ISO 11265
- skład kompleksu sorpcyjnego gleby metodą Pallmana
- kwasowość hydrolityczną gleby metodą Kappena

W oparciu o wyniki badań laboratoryjnych obliczono następujące wskaźniki charakteryzujące stan zasolenia poszczególnych poziomów glebowych.

- pojemność sorpcyjna gleby wobec kationów o charakterze zasadowym

$$S = Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^{+} + K^{+}$$

gdzie  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$  oznaczają zawartości poszczególnych kationów w kompleksie sorpcyjnym wyrażone w  $cmol^+ \cdot kg^{-1}$  gleby,

- $Kh$  - kwasowość hydrolityczną wyrażoną w  $cmol^+ \cdot kg^{-1}$  gleby,
- stopień wysycenia gleby kationami o charakterze zasadowym

$$V = 100 \frac{S}{T}$$

## WYNIKI

Skład wód nadosadowych transportowanych rurociągiem przedstawiono w tabeli nr 1.

Tab. 1. Skład wód nadosadowych transportowanych rurociągiem

Tab. 1. Composition of wastewater transported by pipeline

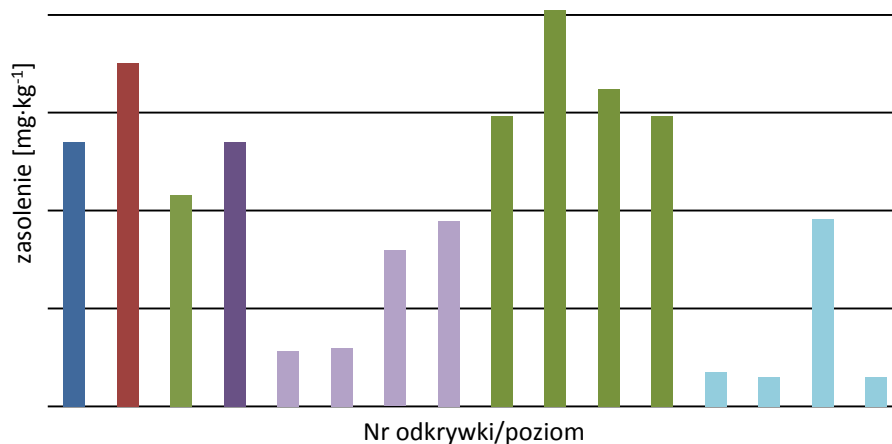
Lp.	Oznaczenie	Zawartość	Lp.	Oznaczenie	Zawartość	Jedn.
1	pH	7,4	13	Ch	<0,005	mg·dm <sup>-3</sup>
2	Zelazo og.	0,085	14	Ag	<0,002	
3	Azot amonowy	<2,0	15	V	<0,001	
4	Azot azotynowy	0,55	16	Cu	0,052	
5	Azot azotanowy	13,4	17	Zn	<0,010	
6	Azot Kiejdahla	2,0	18	Pb	<0,005	
7	Azot ogólny	16,0	19	Na	9100	
8	ChZT	63,0	20	K	125	
9	BZT <sub>5</sub>	4,6	21	Indeks fenolowy	0,005	
10	Fosfor ogólny	<0,1	22	Zawiesina łatwo opadająca	<0,1	
11	Ni	0,126	23	Chlorki	14260	
12	As	0,01	24	Siarczany	2972	

Pod względem składu granulometrycznego badana gleba odsłonięta w profilu nr 1 i 1'; wytworzona była z piasku gliniastego lekkiego na piasku słabogliniastym, natomiast gleba odsłonięta w odkrywce nr 2 i 2' w całości wytworzona była z piasku słabo gliniastego (tab.2).

Badane poziomy mineralne gleby nr 1 charakteryzowały się wartościami pH (w 1 M KCl) w granicach pH 4,4 w poziomach Eet i C oraz 4,5 w poziomach A i Bt. Pod względem odczynu wszystkie poziomy profilu nr 1 należy uznać za silnie kwaśne (tabela 2). W profilu nr 2 wartości pH mieściły się w granicach od

3,6 w poziomie A do 4,3 w poziomie C1. Pod względem odczynu wszystkie poziomy profilu nr 2 również należy uznać za silnie kwaśne (tabela 2). Wartości odczynu w zasadzie nie odbiegają od spotykanych w większości gleb leśnych szczególnie borów iglastych.

Badane poziomy mineralne gleby nr 1' charakteryzowały się wartościami pH (w 1 M KCl) w granicach od pH 4,9 w poziomie Bt do pH 6,3 w górnej części poziomu A. Pod względem odczynu wszystkie poziomy profilu nr 1' należy uznać za kwaśne lub lekko kwaśne (tabela 2). W profilu tym obserwowalny jest wzrost pH w stosunku do wyników z roku 2012. W profilu nr 2' wartości pH mieściły się w granicach od 3,8 w poziomie A do 5,3 w poziomie C1. Pod względem odczynu wszystkie poziomy profilu nr 2' również należy uznać za kwaśne lub bardzo kwaśne.



Ryc. 1. Zasolenie gleb na terenach objętych zalaniem wodami nadosadowymi  
Fig.1. Salinity of soils in the areas covered by the wastewaters flood

Wartości pH w tym profilu w zasadzie nie zmieniły się w stosunku do wyników z roku 2012 i nie odbiegają od spotykanych w większości gleb leśnych szczególnie borów iglastych.

Wartości zasolenia badanej gleby nr 1 są podwyższone we wszystkich poziomach genetycznych i mieszczą się w granicach od 1080 mg·kg<sup>-1</sup> w poziomie Bt do 1755 w poziomie Eet. W 3 poziomach: A, Eet i C zasolenie przekracza wartość 1200 mg·kg<sup>-1</sup> będącą progiem reakcji najbardziej wrażliwych roślin [Sitarski, 2008]. Natomiast w żadnym z poziomów nie stwierdzono przekroczenia wartości 2400 mg·kg<sup>-1</sup> będącej progiem reakcji większości roślin.

W poziomach genetycznych profilu nr 2 znacznie bardziej odległego od miejsca awarii stwierdzono zasolenie wyższe niż w poziomach genetycznych profilu nr 1. Wynosiło ono od  $1485 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  w poziomach A i C2 do  $2025 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  w poziomie Bv. We wszystkich 4 poziomach tego profilu zasolenie przekracza wartość  $1200 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  będącą progiem reakcji najbardziej wrażliwych roślin [Sitarski, 2008]. Natomiast tutaj również nie stwierdzono przekroczenia progu  $2400 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

Taki układ zasolenia może wskazywać na zróżnicowane, określone przez mikrorelief, wsiąkanie słonych wód kopalnianych w glebę, w różnych miejscach zalanego obszaru. Jednocześnie widoczny jest intensywny proces przemiany soli w głąb profili glebowych zachodzący w sprzyjających warunkach gleb o wysokiej przepuszczalności wodnej.

Wartości zasolenia badanej gleby nr 1' mieściły się w granicach od  $283,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  w poziomie A do  $945 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  w poziomie C. Wyraźnie widoczny jest wzrost zasolenia wraz z głębokością. W stosunku do danych z roku 2012 nastąpił spadek średniego zasolenia w tym profilu o ok. 55%. W żadnym poziomie zasolenie nie przekracza już wartości  $1200 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

W poziomach genetycznych profilu nr 2' zasolenie mieściło się w granicach od  $148,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  w poziomie Bv do  $958 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  w poziomie C1. W stosunku do danych z roku 2012 nastąpił spadek średniego zasolenia w tym profilu o ok. 78%. W żadnym poziomie zasolenie obecnie nie przekracza już wartości  $1200 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  podczas gdy w roku 2012 przekraczało tę wartość we wszystkich 4 badanych poziomach genetycznych.

Widoczny jest intensywny proces odsalania gleb zachodzący w sprzyjających warunkach gleb o wysokiej przepuszczalności wodnej, który już obecnie doprowadził do spadku zasolenia do poziomów tolerowanych przez wszystkie rośliny.

Pojemność sorpcyjna wobec kationów o charakterze zasadowym (S) w poziomach mineralnych badanej gleby nr 1 wynosiła od  $5,5 \text{ cmol}^+\cdot\text{kg}^{-1}$  w poziomie Bt do  $7,9 \text{ cmol}^+\cdot\text{kg}^{-1}$  w poziomie A (tabela 2).

Kwasowość hydrolityczna wynosiła od  $0,6 \text{ cmol}^+\cdot\text{kg}^{-1}$  w poziomie Bt do  $2,1 \text{ cmol}^+\cdot\text{kg}^{-1}$  w poziomie A. Stopień wysycenia kationami o charakterze zasadowym był stosunkowo wysoki (pomimo kwaśnego odczynu) i wynosił od 79% w poziomie A do 90,1% w poziomie Bt (tabela 2).

Pojemność sorpcyjna wobec kationów o charakterze zasadowym (S) w poziomach mineralnych badanej gleby nr 2 wynosiła od  $6,3 \text{ cmol}^+\cdot\text{kg}^{-1}$  w poziomie C2 do  $13,0 \text{ cmol}^+\cdot\text{kg}^{-1}$  w poziomie A (tabela 2).

Kwasowość hydrolityczna wynosiła od  $0,90 \text{ cmol}^+\cdot\text{kg}^{-1}$  w poziomie C2 do  $7,1 \text{ cmol}^+\cdot\text{kg}^{-1}$  w poziomie A. Stopień wysycenia kationami o charakterze zasadowym był również stosunkowo wysoki (pomimo kwaśnego odczynu) i wynosił od 64,6% w poziomie A do 87,5% w poziomie C2 (tabela 2).

Podsumowując właściwości sorpcyjne badanych gleb można stwierdzić, że w profilu 1 i 2 występuje naruszenie równowagi w KS świadczące o oddziaływaniu słonych wód.

Tab. 1. Wybrane właściwości fizykochemiczne gleb z rejonu awarii  
Tab. 1. Selected physico-chemical properties of soil from failure area

Data pobrania	Numer odkrywki	Poziom [cm]	Głębokość [cm]	Definicja próbki	Zasolenie [mg·kg <sup>-1</sup> ]	Kh [cmol <sup>+</sup> ·kg <sup>-1</sup> ]	pH		S [cmol <sup>+</sup> ·kg <sup>-1</sup> ]	V [%]
							H <sub>2</sub> O	KCl		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	14	15
10.06.2012	1	A	0-30	pgl	1350	2,1	5,3	4,5	7,9	79,0
		Bv	30-65	ps	1755	0,9	5,0	4,4	5,9	86,8
		C1	65-90	ps	1080	0,6	5,2	4,5	5,5	90,1
		C2	>90	ps	1350	0,9	5,0	4,4	5,8	86,6
17.06.2013	1'	A	0-53	pgl	283,5	1,1	7,2	6,3	4,5	80,9
		Bv	53-96	ps	297,0	0,7	6,4	5,5	2,4	77,6
		C1	96-114	ps	796,5	1,2	5,8	4,9	4,0	76,7
		C2	>114	ps	945,0	0,6	6,8	5,9	3,9	86,8
10.06.2012	2	A	0-27	ps	1485	7,1	4,2	3,6	13,0	64,6
		Bv	27-50	ps	2025	2,6	4,5	4,2	7,9	75,8
		C1	50-80	ps	1620	1,5	4,6	4,3	6,5	81,2
		C2	>80	ps	1485	0,9	4,7	4,2	6,3	87,5
17.04.2013	2'	A	7-24	ps	175,5	4,1	4,4	3,8	3,3	44,6
		Bv	24-55	ps	148,5	2,1	4,5	4,1	2,9	57,6
		C1	55-80	psp	958,5	1,5	6,1	5,3	24,7	94,3
		C2	>80	ps	148,5	0,8	5,3	4,5	2,8	77,1

Pojemność sorpcyjna wobec kationów o charakterze zasadowym (S) w poziomach mineralnych badanej gleby nr 1' wynosiła od 2,4 cmol<sup>+</sup>·kg<sup>-1</sup> w poziomie Eet do 4,5 cmol<sup>+</sup>·kg<sup>-1</sup> w poziomie A (tabela 2).

Kwasowość hydrolityczna wynosiła od 0,6 cmol<sup>+</sup>·kg<sup>-1</sup> w poziomie C do 1,1 cmol<sup>+</sup>·kg<sup>-1</sup> w dolnej części poziomu A. Stopień wysycenia kationami o charakterze zasadowym był stosunkowo wysoki i wynosił od 76% w poziomie Bt do 86,8% w poziomie C (tabela 2).

Pojemność sorpcyjna wobec kationów o charakterze zasadowym (S) w poziomach mineralnych badanej gleby nr 2' wynosiła od 2,8  $\text{cmol}^+\cdot\text{kg}^{-1}$  w poziomie C2 do 24,7  $\text{cmol}^+\cdot\text{kg}^{-1}$  w poziomie C1 (tabela 2).

Kwasowość hydrolityczna wynosiła od 0,8  $\text{cmol}^+\cdot\text{kg}^{-1}$  w poziomie C2 do 4,1  $\text{cmol}^+\cdot\text{kg}^{-1}$  w poziomie A. Stopień wysycenia kationami o charakterze zasadowym był zróżnicowany i wynosił od 44,6% w poziomie A do 94,3% w poziomie C1 (tabela 2).

Podsumowując właściwości sorpcyjne badanych gleb można stwierdzić, że symptomy naruszenia równowagi w kompleksie sorpcyjnym utrzymują się jedynie w profilu 1'.

### WNIOSKI

Ze względu na lekki skład granulometryczny gleb w rejonie awarii w obu badanych profilach postępuje wyraźny proces samorzutnego odsalania gleb.

W żadnym z przebadanych w 2013 roku poziomów genetycznych zasolenie nie przekracza wartości 1200  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  będącej progiem reakcji roślin szczególnie wrażliwych.

W obu profilach badanych w roku 2012 i ponownie w czerwcu 2013 doszło do znaczącej redukcji zasolenia (o około 66%).

Skład granulometryczny ma istotny wpływ na odsalanie gleby. Rok po awarii w profilu nr 1', który jest wytworzony z piasku gliniastego lekkiego na piasku słabogliniastym, nastąpił wyraźny spadek zasolenia (o ok 80%) w poziomie A i Eet. Nastąpiło wmycie soli w głąb profilu glebowego. W profilu 2' największe zasolenie utrzymuje się w poziomie C1. Spowodowane jest to wystąpieniem piasku słabo gliniastego pylastego. W pozostałych poziomach wytworzonych z piasku słabogliniastego nastąpił spadek zasolenia o ok 90%.

### LITERATURA

1. HERRERO J., PE'REZ-COVETA O.; 2005. Soil salinity changes over 24 years in a Mediterranean irrigated district. *Geoderma* 125, 287-308.
2. KASZUBKIEWICZ J., ANGEŁOW Z., KAWAŁKO D., JEZERSKI P.; 2010. Conditions of desalinization process of soils flooded with copper mining wastewater. *Polish J. of Environ. Stud.* Vol. 19, No 4; 739-747.
3. KASZUBKIEWICZ J., CHODAK T.; 1999. Przebieg zmian właściwości chemicznych gleb zalanych wodami technologicznymi z kopalni rud miedzi. *Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu, Rolnictwo, LXXIV, Nr 367, 93-108.*



4. MILIĆEVIĆ S., MILOŠEVIĆ V., VLAHOVIĆ M., MARTINOVIĆ S., POVRENOVIĆ D.; 2013. Concentration method for the mining wastewater – valorization of the copper. Reporting for sustainability 2013, 431-435.
5. SHAMIM A. H. , AKAE T.: 2009. Desalinization of Saline Soils Aimed at Environmentally Sustainable Agriculture: A New Thought. Journal of American Science; 5(5):197-198.
6. SHANNON M.C., GRIEVE C.M.; 1999. Tolerance of vegetable crops to salinity. Scientia Horticulturae 78: 5-38
7. SITARSKI M.; 2008. Charakterystyka warunków glebowych i szaty roślinnej w wybranych osiedlach mieszkaniowych Warszawy. Człowiek i Środowisko 32 (1-2), 19-41.
8. ZHOU D., ZHULU L., LIMING L.; 2012. Regional land salinization assessment and simulation through cellular automaton-Markov modeling and spatial pattern analysis. Science of the Total Environment 439, 260-274.

**PROCEEDINGS OF SALINITY CHANGES IN SOILS  
FLOODED WASTEWATERS FROM RESERVOIR  
FLOTATION WASTE "IRON BRIDGE"**

*S u m m a r y*

*The paper presents results of research on soils flooded salinity wastewaters as a result of failure of underground pipeline between the villages Żuków and Bieńków. As a result of flooding increased the salinity of soils. In order to determine the progress of desalination research was carried out again year after the accident.*

Key words: soil salinity, wastewater, copper mine