

**Elżbieta BIERNACKA, Franciszek MACIAK, Grzegorz KURZAWSKI**  
Katedra Rekultywacji Środowiska Przyrodniczego SGGW

## **Badania nad możliwością oczyszczania wód ze składników: Ca, Mg, Na przy użyciu złóż torfowo-mineralnych**

### **Wprowadzenie**

Torfy ze względu na swoje specyficzne właściwości fizyczno-chemiczne i biochemiczne oraz dostępność i łatwość pozyskiwania mogą odegrać również pozytywną rolę w ochronie środowiska przyrodniczego (Biernacka, Liwski, Maciak 1987; James, McLellan Chet 1986; Hartland-Rowe, Wright 1975; Maciak, Biernacka, Kurzawski 1994).

W szczególności torfy nadawać się mogą do oczyszczania zanieczyszczonych chemicznie wód (Kuntze, Feige 1977; Ekman, Asplund 1975).

Rozpatrując proces oczyszczania wód przez torfy, należy sądzić, że zakres oczyszczania wód z nadmiaru niektórych pierwiastków, stwarzających zagrożenie w środowisku wodnym, można rozszerzyć formując do oczyszczania wód "złoża" zarówno z różnych rodzajów torfów, jak i z udziałem różnej filtracyjnej warstwy mineralnej, charakteryzującej się wybiórczo także wysokimi zdolnościami sorpcyjnymi w stosunku do niektórych pierwiastków (Farnham, Brown 1972; Hammer, Kadlec 1980; Maciak, Biernacka, Kurzawski 1994).

Celem niniejszej pracy było zbadanie możliwości oczyszczania wód rzeki Jeziorki z nadmiaru pierwiastków: Ca, Mg i Na, przy użyciu sztucznie spreparowanych "złóż" filtracyjnych z torfu wysokiego i

torfu niskiego, zalegających na przepuszczalnej warstwie mineralnej o zróżnicowanych właściwościach fizyczno-chemicznych, zawierającej w swej masie składniki chemiczne zwiększające efekt oczyszczania wód przez torfy.

### **Opis doświadczenia i metody**

Doświadczenie modelowe (w skali laboratoryjnej) nad oczyszczaniem wód rzeki Jeziorki przeprowadzono w lizymetrach przy użyciu sztucznie spreparowanych "złóż" filtracyjnych z torfu wysokiego i torfu niskiego o miąższości 15 cm, podścielonych 15 cm warstwą piasku lub 15 cm warstwą popiołu elektrownianego (z węgla brunatnego), lub 15 cm warstwą popiołu (z węgla kamiennego), lub 15 cm warstwą zeolitu. Dla łatwiejszego odpływu "odcieków" (w czasie oczyszczania wód) na dno lizymetrów wprowadzono 5 cm warstwę pospółki budowlanej.

Spreparowane w formie "złóż" utwory o miąższości warstwy podścielającej (mineralnej) — 15 cm i powierzchniowej — 15 cm warstwy torfu zostały wprowadzone do podwójnych (45 l) lizymetrów, zapewniających odciek wód pościekowych.

W ciągu 3 pierwszych miesięcy (przy dawce miesięcznie 100 mm wody na lizymetr) zastosowano 300 mm zanieczyszczonych wód. W ciągu 3 dalszych miesięcy

zastosowano następane dawki tej samej wody rzeki Jeziorki — po 100 mm miesięcznie (tab. 2). W sumie w ciągu 6 miesięcy zastosowano 600 mm wód zanieczyszczonych na powierzchnię lizymetru ( $F = 0,1134 \text{ m}^2$ ).

Dwa doświadczenia lizymetryczne: 1 — z użyciem torfu wysokiego, 2 — torfu niskiego, przeprowadzono w 3 powtórzeniach (tab. 2). Odcieki z każdego miesiąca, po zakończeniu filtracji, służyły do analiz chemicznych.

Zastosowane utwory wykazywały następujące właściwości:

- torf wysoki torfowcowy, stopień rozkładu 17%, popielność 2,5% s.m., maksymalna pojemność wodna wynosiła 1490% s.m., pH = 4,5 (w  $\text{H}_2\text{O}$ ), gęstość właściwa  $1,36 \text{ g/cm}^3$ ;
- torf niski trzcinowy, stopień rozkładu 30%, popielność 16% s.m., maksymalna pojemność wodna 640% s.m., pH = 5,0 (w  $\text{H}_2\text{O}$ ), gęstość właściwa  $1,46 \text{ g/cm}^3$ ;
- popiół (z E. C. Konin) stanowił pozostałość po spaleniu węgla brunatnego. Charakteryzował się znacznym rozdrobnieniem. Zawierał 56% ziaren grubszych o średnicy 1,0–0,1 mm, 34% pyłów o średnicy 0,1–0,02 mm oraz 10% części spławialnych < 0,02 mm, co kwalifikuje utwór jako pył zwykły, pH = 10,2 (w  $\text{H}_2\text{O}$ ), gęstość właściwa  $2,38 \text{ g na cm}^3$ ;
- popiół (z E. C. Kawęczyn) stanowił pozostałość po spaleniu węgla kamiennego. Charakteryzował się dużym rozdrobnieniem i pyleniem w stanie suchym. Zawierał 47% ziaren grubszych o średnicy 0,1–0,02 mm oraz 17% o średnicy < 0,02 mm, pojemność wodna popiołu wynosiła 55% s.m., pH = 7,6 (w  $\text{H}_2\text{O}$ ), gęstość właściwa  $2,04 \text{ g/cm}^3$ ;
- zeolit w formie granulowanej TYP4A1,  $F = 1,6\text{--}2,5 \text{ mm}$ , partia 160 produkcji Zakładów Sodowych Inowrocław-Janikowo, pH = 10,6 (w  $\text{H}_2\text{O}$ ), gęstość właściwa  $2,14 \text{ g/cm}^3$ ;

— pospółka budowlana (średnioziarnista) o średnicy 4–8 mm, pH = 8,5, gęstość właściwa  $2,6 \text{ g/cm}^3$ .

Niektóre właściwości chemiczne utworów, będących składową częścią spreparowanych złóż, zawiera dodatkowo tabela 1. Zwraca w niej uwagę niski bądź wysoki odczyn oraz znaczna ilość niektórych pierwiastków w torfach i w podścielających torfy; piasku, popiołach, zeolicie i pospółce. Dotyczy to zwłaszcza zawartych tam pierwiastków: Ca, Mg i Na, mogących mieć istotny wpływ na stopień oczyszczenia z tych pierwiastków wód rzeki Jeziorki.

Dla wszystkich badanych substancji obliczono procent zatrzymania danej substancji przez złożę, zgodnie ze wzorem:

$$Z_{\%} = 100 \cdot [(Z_p - Z_k) Z_p]$$

gdzie:

$Z_p$  — stężenie zanieczyszczeń w wodzie nie oczyszczonej,

$Z_k$  — stężenie zanieczyszczeń w odcieku po filtracji przez złożę.

Znak minus przed liczbą oznacza, że dany składnik był wymywany ze złoża.

Na podstawie powyższych wyników przeprowadzono dwuczynnikową analizę wariancji z interakcjami, badając istotność wpływu stosowanego złoża i liczby "przejsć" wody przez złożę.

Pierwsze oraz dalej omówione obliczenia wykonywano oddzielnie dla wyników otrzymanych w odciekach 1–3 i w odciekach 4–6 wody rzeki Jeziorki. Następnie dokonano obliczenia 95% przedziałów ufności średniego procentu oczyszczania dla poszczególnych składników chemicznych w funkcji numeru odcieku i rodzaju złoża oraz kombinacji złożę–odciek.

Ponieważ analiza wariancji w większości wypadków wykazała istotny statystycznie wpływ stosowanego złoża, jak i numeru odcieku na procent zatrzymania badanych substancji przez złożę, więc wykonano także Multiple Range Test, oparty na naj-

mniejszej istotnie różnicy (NIR) przy poziomie istotności 0,05 (w funkcji numeru odcieku i rodzaju złoża).

Test ten pozwolił znaleźć substancje o podobnym charakterze zachowania w kolejnych odciekach (dla złoża o uśrednionych własnościach), np. typu zatrzymanie — wymycie — zatrzymanie itd., oraz wydzielić grupy złożów o istotnie różnych własnościach filtrujących dla badanych substancji.

Analizę chemiczną zanieczyszczonych wód i użytych materiałów wykonano wg metody ASA (Ostrowska, Gawliński, Szczubiałko 1991) oraz innych stosowanych metod laboratoryjnych (Hermanowicz i wsp. 1976).

### Wyniki badań

Dane liczbowe dotyczące właściwości chemicznych złożów torfowo-mineralnych użytych do oczyszczania wód zawarto w tabeli 1. Zwraca tam uwagę znaczne zróżnicowanie pod względem zawartości analizowanych pierwiastków (Ca, Mg, Na) w utworach stanowiących spreparowane złoża do oczyszczania wód. Wyróżnić można

pod tym względem dość znaczne ilości wapnia i magnezu w popiołach (z węgla brunatnego i kamiennego) oraz bardzo duże ilości sodu (w zeolicie). O ile jednak wymycie Ca i Mg ze złożów było niewielkie, to wymycie Na — szczególnie na złożach torfowych z podłożem zeolitowym — było bardzo duże. Stąd też przy oczyszczaniu wód rzeki Jeziorki (przez omawiane złoża), ze względu na duże wymycie sodu ze złożów torfowych z podłożem zeolitowym (nr 7 i 8), w obliczeniach statystycznych dotyczących Na pominięto ww. złoża.

Tabela 2 zawiera średnie zawartości analizowanych pierwiastków (Ca, Mg, Na) w wodzie surowej rzeki Jeziorki oraz w wodzie z rzeki Jeziorki, oczyszczonej na poszczególnych złożach. Oczyszczone wody stanowią 3 odcieki po filtracji przez złoża, uzyskane w ciągu trzech pierwszych miesięcy (1–3) oraz 3 odcieki — po filtracji przez złoża w ciągu dalszych miesięcy (4–6).

Przedstawione średnie wartości analizowanych pierwiastków w oczyszczonej wodzie (odcieki), w porównaniu do "surowej" wody rzeki Jeziorki, wskazują na możliwości oczyszczania wód z niektórych

TABELA 1. Właściwości chemiczne utworów stanowiących "złoża" torfowo-mineralne

Utwory stanowiące "złoża"	N-og.	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	P	K	Ca	Mg	Na	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	pH w H <sub>2</sub> O
	% s.m.								ppm					
Torf wysoki	0,82	0,01	śl.	0,06	0,03	0,61	0,13	0,03	158,0	12,0	śl.	śl.	śl.	3,4
Torf niski	3,53	0,06	0,07	0,07	0,05	2,73	0,26	0,03	70,0	13,0	śl.	16	śl.	5,4
Piasek	—	—	—	śl.	0,02	0,12	0,04	0,01	104,0	3,0	śl.	śl.	śl.	7,8
Popiół węgla brunatnego	—	—	—	0,007	0,04	6,52	1,80	0,11	452,0	15,0	7,9	14	śl.	10,2
Popiół węgla kamiennego	—	—	—	0,03	0,24	0,90	0,87	0,07	1067,0	40,0	22,0	14	śl.	8,7
Zeolit	0,07	śl.	—	0,007	0,10	0,15	0,05	4,15	15,0	3,6	4,8	śl.	śl.	10,6
Pospółka	—	—	—	śl.	0,05	11,2	1,43	0,04	24,0	5,0	2,4	22	śl.	9,5

TABELA 2. Średnie zawartości składników chemicznych (Ca, Mg, Na) w wodzie (surowej) rzeki Jeziorki i oczyszczonej na poszczególnych złożach (ppm)

Kombinacja	Rodzaj złoża	Ca	Mg	Na	pH w H <sub>2</sub> O	Zasolenie og.
1-3 odciek (3 miesiące)						
Woda rzeki Jeziorki po oczyszczeniu w ciągu 1-3 miesięcy	1. Torf wysoki + piasek	8,30	7,26	16,57	7,2-7,5	0,70
	2. Torf niski + piasek	8,66	8,63	30,37	7,2-7,7	1,25
	3. Torf wysoki + popiół węgla brunatnego	7,01	0,06	72,27	9,0-10,5	0,78
	4. Torf niski + popiół węgla brunatnego	3,11	0,03	97,59	8,8-10,5	1,04
	5. Torf wysoki + popiół węgla kamiennego	11,30	67,33	13,11	7,8-8,1	1,21
	6. Torf niski + popiół węgla kamiennego	18,83	56,16	16,41	7,7-7,9	1,73
	7. Torf wysoki + zeolit	4,63	0,61	414,01	9,3-10,0	2,70
	8. Torf niski + zeolit	3,02	0,85	455,66	9,2-10,0	3,07
Woda surowa rzeki Jeziorki		155,0	46,00	57,00	7,3	0,80
4-6 odciek (3 miesiące)						
Woda rzeki Jeziorki po oczyszczeniu w ciągu 4-6 miesięcy	1. Torf wysoki + piasek	53,63	17,30	49,53	6,1-7,2	0,95
	2. Torf niski + piasek	49,23	16,56	33,11	6,5-7,2	1,26
	3. Torf wysoki + popiół węgla brunatnego	27,40	0,29	41,16	8,2-10,3	0,60
	4. Torf niski + popiół węgla brunatnego	32,46	0,02	42,11	8,0-10,0	0,65
	5. Torf wysoki + popiół węgla kamiennego	60,70	53,70	29,99	8,2-8,4	0,95
	6. Torf niski + popiół węgla kamiennego	43,00	38,06	27,72	8,0-8,3	1,08
	7. Torf wysoki + zeolit	4,16	0,05	900,00	9,5-9,8	2,68
	8. Torf niski + zeolit	5,26	0,04	920,33	9,5-9,8	2,57

pierwiastków chemicznych przy użyciu sztucznych złóż torfowo-mineralnych.

#### Wapń

Zawartość wapnia w wodzie rzeki Jeziorki przed oczyszczeniem wyniosła 155 ppm. Oczyszczanie wody na złożach w ciągu trzech pierwszych miesięcy spowo-

dowało redukcję wapnia do wysokości 3,02-18,83 ppm (tab. 2). Średni procent zatrzymania Ca przez złoża wahał się od 87,85% — dla złoża nr 6 — do 98,05% — dla złoża nr 8.

Statystycznie istotne różnice (tab. Ca-1) występują między złożem nr 6 a pozostałymi i między złożem nr 5 a pozostałymi.

TABELA Ca-1. Wyniki Multiple Range Test opartego na  $NIR_{0,05}$  dla procentu zatrzymania Ca przez badane złoża w odciekach 1-3

Złoże	L. punktów	Śr. % zatrzymania	Gr. jednorodne							
6	6	87,85	X							
5	6	92,69		X						
2	6	94,40			X					
1	6	94,62			X					
3	6	95,45			X					
7	6	97,02				X				
4	6	97,99				X				
8	6	98,05				X				



TABELA Ca-2. Wyniki Multiple Range Test opartego na  $NIR_{0,05}$  dla procentu zatrzymania Ca przez badane złoża w odciekach 4-6

Złoże	L. punktów	Śr. % zatrzymania	Gr. jednorodne							
5	6	60,83	X							
1	6	65,38		X						
2	6	68,23		X	X					
6	6	72,25			X					
4	6	79,03				X				
3	6	82,31				X				
8	6	96,59					X			
7	6	97,48					X			

Pomiędzy złożami o nr. 2, 1 i 3 nie ma istotnych różnic, natomiast istotne różnice w oczyszczaniu przez złoża Ca występują pomiędzy wymienionymi złożami (2, 1, 3) a pozostałymi (7, 4, 8). Nie ma także istotnych różnic statystycznych między złożami o nr. 7, 4 i 8.

W odciekach 4-6 stwierdza się znacznie więcej Ca niż w pierwszych (odcieki 1-3). Średni procent zatrzymania Ca waha się tam od 60,83% — dla złoża nr 5 — do 97,48% Ca — dla złoża nr 7. Istotne różnice w procentowej redukcji Ca występują między złożem nr 5 a pozostałymi. Nie ma różnic między złożem nr 1 i 2. Istotne różnice są między złożem nr 2 a pozostałymi. Natomiast nie ma istotnych różnic między złożem 4 i 3 oraz między złożem 8 i 7.

Największe zatrzymanie Ca miało miejsce na złożach o nr. 8 i 7 (torfy z podłożem zeolitowym). Wysokie zdolności zatrzymania Ca (79,03% i 82,31%) również wykazały złoża nr 4 (torf niski + popiół K)

oraz nr 3 (torf wysoki + popiół B). Najślabiej Ca był sorbowany przez złoża torfów wysokich z podłożem piaskowym i z podłożem z węgla kamiennego (tab. Ca-2).

Na podstawie przeprowadzonej analizy wariancji można również stwierdzić, że zarówno rodzaj złoża, jak i nr odcieku ma istotny statystycznie wpływ ( $p < 0,0001$ ) na procent zatrzymania tego pierwiastka przez złoża. Biorąc pod uwagę procent zatrzymania Ca przez badane złoża, na podstawie analizy odcieków 1-3 (tab. Ca-3) można stwierdzić, że największy średni procent zatrzymania Ca (95,33 i 96,16) wystąpił przy odcieku nr 1 i 2. Natomiast w trzecim odcieku występuje niewielki procentowy spadek zatrzymania Ca przez złoża, wynoszący 92,78%. Istotne różnice występują zatem między odciekiem nr 3 a pozostałymi. Natomiast nie ma istotnych różnic między odciekiem nr 1 i 2.

Analizując wartości średnie, procent zatrzymania Ca przez złoża — na podstawie

TABELA Ca-3. Wyniki Multiple Range Test opartego na  $NIR_{0,05}$  dla procentu zatrzymania Ca przez badane złoża w odciekach 1-3

Odciek	L. punktów	Śr. % zatrzymania	Gr. jednorodne		
3	16	92,78	X		
1	16	95,33		X	
2	16	96,16		X	

TABELA Ca-4. Wyniki Multiple Range Test opartego na  $NIR_{0,05}$  dla procentu zatrzymania Ca przez badane złoża w odciekach 4-6

Odciek	L. punktów	Śr. % zatrzymania	Gr. jednorodne		
6	16	76,01	X		
4	16	77,74	X	X	
5	16	79,54		X	

analizy odcieków nr 4, 5, 6 (tab. Ca-4) — można zauważyć dalszy średni procentowy spadek zatrzymania Ca przez złoża w miarę długości okresu filtracji. Średni procent zatrzymania Ca dla odcieku nr 6 jest najmniejszy i wynosi odpowiednio 76,01%, a najwyższy — dla odcieku nr 5 i wynosi 79,54%.

Statystycznie istotne różnice między średnimi wartościami procentu zatrzymania Ca występują między odciekiem nr 6 a pozostałymi. Natomiast nie ma istotnych różnic między odciekiem nr 6 a 4 oraz odciekiem nr 4 a 5.

#### Magnez

Zawartość magnezu w wodzie nie oczyszczonej rzeki Jeziorki wynosiła 46,00 ppm. W pierwszych trzech odcinkach (1-3) średnie wartości Mg występowały w granicach od 0,03 do 67,33 ppm (tab. 2). Średni procent zatrzymania (najgorszy), przyjmujący wartości ujemne, wystąpił na złożu nr

6 (-69,93%) i na złożu nr 5 (-46,38%). Są to złoża uformowane z torfu niskiego i torfu wysokiego z podłożem popiołu K (z węgla kamiennego). Wyniki obliczeń statystycznych (tab. Mg-1) wskazują, że najwyższe zatrzymanie Mg wystąpiło kolejno na złożach o następujących numerach: 4, 3, 7, 8, tj. złoż torfu z podłożem popiołu B i złoż torfu z podłożem zeolitu. Średni procent zatrzymania wynosił tam 99,93% — dla złoża nr 4 — i 98,14% — dla złoża nr 8. Złoża nr 2 i 1 (torfy na podłożu piasku) zatrzymały Mg w wysokości 84,17 i 81,16%.

Istotne różnice występują także między złożem nr 6 a pozostałymi złożami, między złożem nr 5 a pozostałymi. Nie ma istotnych różnic między złożami 2 i 1 oraz między złożami o nr. 8, 7, 3, 4.

W odciekach 4-6 ujemna wartość (-16,92%), ze względu na wymywanie Mg ze złoża, występuje tylko w złożu nr 5. W pozostałych złożach procent zatrzymania Mg przez złoża waha się w granicach od

TABELA Mg-1. Wyniki Multiple Range Test opartego na  $NIR_{0,05}$  dla procentu zatrzymania Mg przez badane złoża w odciekach 1-3

Złoże	L. punktów	Śr. % zatrzymania	Gr. jednorodne							
6	6	-69,93	X							
5	6	-46,38		X						
2	6	81,16			X					
1	6	84,17			X					
8	6	98,14				X				
7	6	98,67				X				
3	6	98,87				X				
4	6	99,93				X				

TABELA Mg-2. Wyniki Multiple Range Test opartego na  $NIR_{0,05}$  dla procentu zatrzymania Mg przez badane złoża w odciekach 4-6

Złoże	L. punktów	Śr. % zatrzymania	Gr. jednorodne							
5	6	-16,92	X							
6	6	17,17		X						
1	6	62,32			X					
2	6	63,99			X					
3	6	99,88				X				
7	6	99,90				X				
8	6	99,92				X				
4	6	99,96				X				

17,17% — dla złoża nr 6, do 99,96% — dla złoża nr 4. Wartości dotyczące procentowego zatrzymania Mg przez złoża (w czasie 4-6 oczyszczania) są podobne do przebiegu zatrzymania Mg przez złoża po pierwszych (1-3) odciekach. Te same złoża o nr. 4, 8, 7, 3 również zatrzymały najwyższe ilości Mg.

Rozpatrując zawartość Mg w odciekach, średnie wartości dotyczące procentu zatrzymania przez wszystkie badane złoża, można zauważyć zróżnicowania w średnich wartościach Mg w zależności od

kolejnego numeru odcieku. Tabela Mg-3 przedstawia  $NIR_{0,05}$  dla procentu zatrzymania Mg przez badane złoża w odciekach 1-3. Średni procent zatrzymania Mg jest najmniejszy (36,82%) w odcieku nr 1, a największy — w odcieku nr 3 (68,68%).

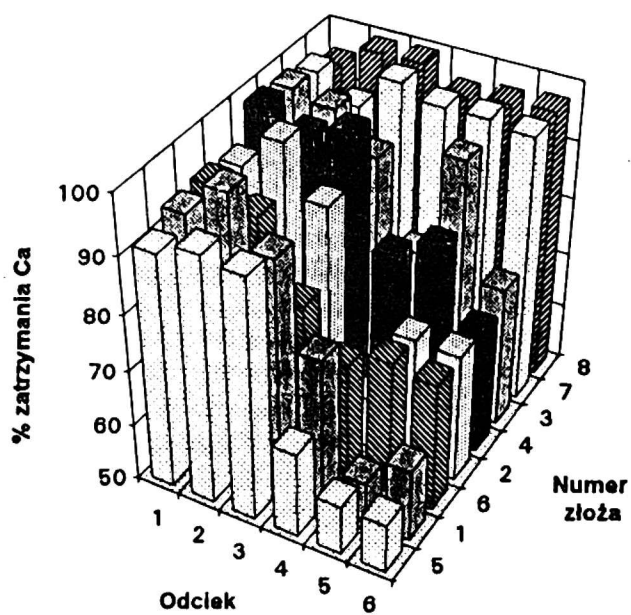
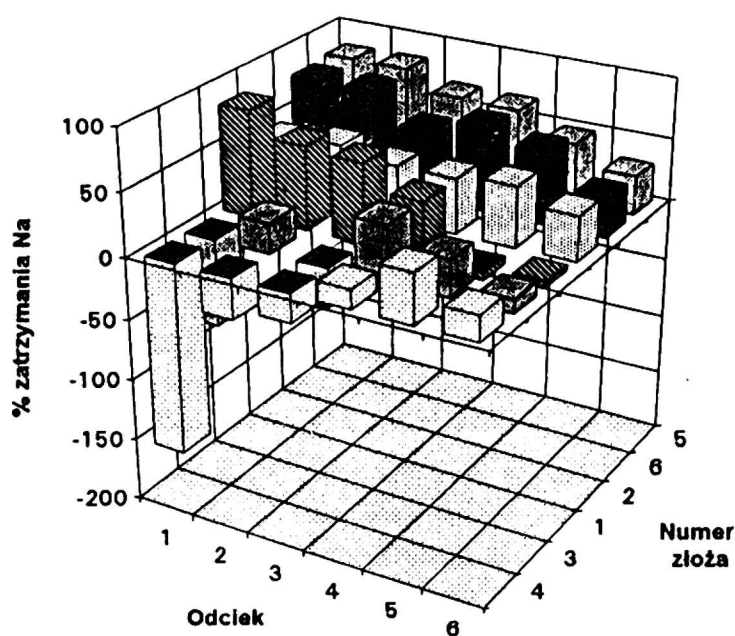
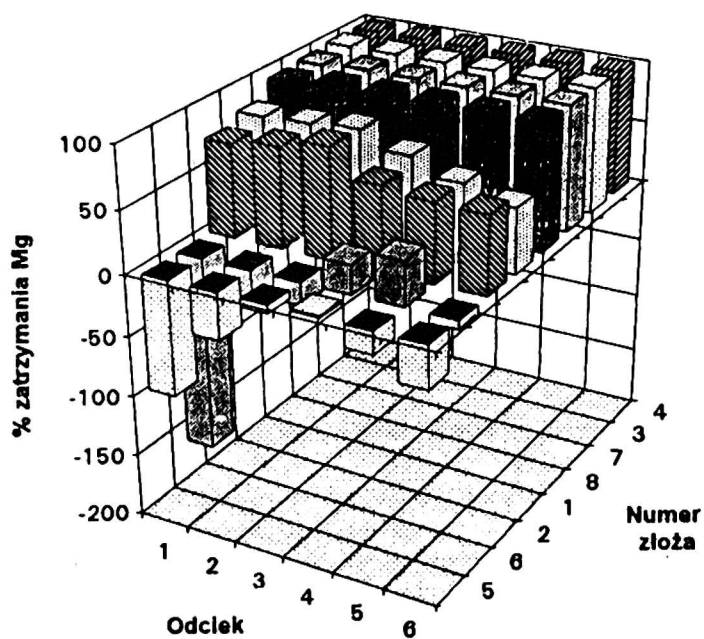
Występuje statystycznie istotna różnica między średnimi wartościami procentu zatrzymania Mg w złożach między odciekiem nr 1 a pozostałymi (nr 2 i 3) oraz między odciekiem nr 2 a odciekiem nr 3. W dalszych odciekach (nr 4-6) (tab. Mg-4)

TABELA Mg-3. Wyniki Multiple Range Test opartego na  $NIR_{0,05}$  dla procentu zatrzymania Mg przez badane złoża w odciekach 1-3

Odciek	L. punktów	Śr. % zatrzymania	Gr. jednorodne		
1	16	36,82	X		
2	16	61,60		X	
3	16	68,68			X

TABELA Mg-4. Wyniki Multiple Range Test opartego na  $NIR_{0,05}$  dla procentu zatrzymania Mg przez badane złoża w odciekach 4-6

Odciek	L. punktów	Śr. % zatrzymania	Gr. jednorodne		
6	16	58,87	X		
5	16	67,70		X	
4	16	70,77			X

**a****b****c**

Rys. 1. Procent zatrzymania poszczególnych pierwiastków (Ca, Na, Mg) przez badane złoża w odciekach 1–6 (znak minus oznacza wypłukiwanie pierwiastka ze złoża)



średni procent zatrzymania przez złoża występuje w odcieku nr 4 (70,77%), a najmniejszy — w odcieku nr 6 (58,87%).

Statystycznie istotne różnice między średnimi wartościami procentu zatrzymania Mg w złożach występują między odciekiem nr 6 a pozostałymi (nr 5 i 4) oraz między odciekiem nr 5 a odciekiem nr 4. Jak już podkreślono odciek nr 4 wykazał średni procent zatrzymania Mg 70,77%. Średnie wartości procentu zatrzymania Mg przez badane złoża (odcieki 1–3 oraz 4–6) w funkcji numeru kombinacji złoża–odciek zawiera rysunek 1c, natomiast średnie wartości procentu zatrzymania obydwu pierwiastków (Ca i Mg) przez badane złoża (odciek 1–6) w funkcji numeru odcieku i złoża ilustrują rysunki 1a i 1c.

Jak wynika z powyższych rysunków, procent zatrzymania przez złoża pierwiastków Ca i Mg różni się wyraźnie w poszczególnych odciekach. Szczególnie widoczne są różnice w 1 odcieku oraz w 4, 5 i 6 odcieku.

#### Sód

Zawartość sodu w surowej wodzie rzeki Jeziorki wynosiła 57 ppm (tab. 2). Wyflukiwanie Na w czasie filtracji wody przez złoża było bardzo wysokie (w niektórych złożach). Szczególnie Na był wymywany ze złóż o podłożu zeolitowym (nr 7, 8). Wobec powyższego w obliczeniach statystycznych dotyczących zatrzymania Na

przez złoża brano pod uwagę złoża o nr. 1–6. Wyflukiwanie Na w czasie filtracji wody w ciągu trzech miesięcy (1–3 odciek) nastąpiło w złożach o nr. 4, 3 (tab. Na–1). Zatrzymanie Na w złożach wystąpiło tylko w czasie filtracji wody przez złoża nr. 2, 6, 1, 5. Najwyższe zatrzymanie (77,13%) wystąpiło przy filtracji wody przez złożo nr 6, najniższe (46,38%) — przy filtracji przez złożo nr 2.

Statystycznie istotna różnica między średnimi wartościami występuje (zaczynając od wyniku najgorszego) między złożem nr 4 a pozostałymi, nr 3 a pozostałymi, nr 2 a pozostałymi. Nie ma statystycznie istotnych różnic w wynikach zatrzymania Na, otrzymanych dla złóż o nr. 6, 1, 5.

Przy analizie zawartości Na w odciekach 4–6 (tab. Na–2) stwierdza się najwyższe ilości Na po filtracji wody przez złoża torfu wysokiego z podłożem piaskowym (złożo nr 1). Omawiane złoża (nr 1, 4, 3, 2, 5, 6) zatrzymują Na z wody rzeki Jeziorki w granicach od 13,91% do 51,74%. Spośród wymienionych złóż najwyższe zatrzymanie Na nastąpiło w złożach nr 6 i 5 (średni procent zatrzymania 51,74 i 47,83), uformowanych z torfu niskiego i z torfu wysokiego na podłożu zawierającym popiół K.

Statystycznie istotna różnica między średnimi wartościami występuje (zaczynając od wyniku najgorszego) między złożem nr 1 a pozostałymi, nr 4 a pozostałymi, nr 3

TABELA Na–1. Wyniki Multiple Range Test opartego na  $NIR_{0,05}$  dla procentu zatrzymania Na przez badane złoża w odciekach 1–3

Złożo	L. punktów	Śr. % zatrzymania	Gr. jednorodne							
4	6	–70,00	X							
3	6	–25,65		X						
2	6	46,38			X					
6	6	71,10				X				
1	6	71,39				X				
5	6	77,13				X				

TABELA Na-2. Wyniki Multiple Range Test opartego na  $NIR_{0,05}$  dla procentu zatrzymania Na przez badane złoża w odciekach 4-6

Złoże	L. punktów	Śr. % zatrzymania	Gr. jednorodne							
1	6	13,91	X							
4	6	24,93		X						
3	6	28,26		X						
2	6	42,32			X					
5	6	47,83			X	X				
6	6	51,74				X				

a pozostałymi oraz nr 5 a pozostałymi. Nie ma statystycznie istotnych różnic w wynikach wartości Na otrzymanych dla złóż o nr. 4 i 3, 2 i 5, 5 i 6.

Na podstawie analizy chemicznej odcieków (1-3) stwierdzono średni procent zatrzymania Na przez złoża, wynoszący od 11,13% do 44,87%. Ilustruje to tabela Na-3, z której wynika, że średni procent zatrzymania Na przez złoża jest najmniejszy dla odcieku nr 1, a największy — dla odcieku nr 2.

Statystycznie istotna różnica występuje między średnimi wartościami procentu zatrzymania Na w złożach między odcie-

kiem nr 1 a odciekiem nr 3 oraz odciekiem nr 3 a odciekiem nr 2. W następnych odciekach 4-6 (tab. Na-4) najmniejszy średni procent zatrzymania (21,96%) jest przy odcieku nr 6, a największy (46,59%) — przy odcieku nr 4.

Statystycznie istotne różnice występują między średnimi wartościami procentu zatrzymania Na w złożach między odciekiem nr 6 a odciekiem nr 5 oraz odciekiem nr 5 a odciekiem nr 4.

Na podstawie uzyskanych wyników, dotyczących oczyszczenia wody z Na, można stwierdzić, że złoża uformowane z torfu wysokiego i niskiego, z podłożem

TABELA Na-3. Wyniki Multiple Range Test opartego na  $NIR_{0,05}$  dla procentu zatrzymania Na przez badane złoża w odciekach 1-3

Odciek	L. punktów	Śr. % zatrzymania	Gr. jednorodne		
1	12	11,13	X		
3	12	29,17		X	
2	12	44,87			X

TABELA Na-4. Wyniki Multiple Range Test opartego na  $NIR_{0,05}$  dla procentu zatrzymania Na przez badane złoża w odciekach 4-6

Odciek	L. punktów	Śr. % zatrzymania	Gr. jednorodne		
6	12	21,96	X		
5	12	35,94		X	
4	12	46,59			X

popiołów pochodzących ze spalania węgla kamiennego, są stosunkowo najlepszymi sorbentami sodu w czasie filtracji zanieczyszczonych wód. Procent zatrzymania poszczególnych pierwiastków (Ca, Mg, Na) przez badane (1–8) złoża w kolejnych odciekach (1–6) przedstawia rysunek 1a, b, c.

## Wnioski

Przeprowadzone doświadczenia modelowe (w skali laboratoryjnej) nad oczyszczaniem zanieczyszczonych wód rzeki Jeziorzki z Ca, Mg, Na, przy użyciu sztucznie spreparowanych złożów torfowo-mineralnych, pozwalają na wysunięcie następujących wniosków:

1. **Wapń.** Wysokie zatrzymanie Ca przez złoża następowało zarówno w pierwszym okresie (1–3 miesiące) oczyszczania wody, jak i w okresie dalszym (4–6 miesięcy). Zatrzymanie Ca przez złoża po 1–3 odciekach (3 miesiące) wynosiło od 87,85% (złoże nr 6: torf niski + popiół K) do 98,05% (złoże nr 8: torf niski + zeolit). Po 4–6 odciekach (6 miesięcy) zatrzymanie Ca przez złoża wynosiło od 60,83% (złoże nr 5: torf wysoki + popiół K) do 97,48% (złoże nr 8: torf niski + zeolit).

2. **Magnez.** Wyplukiwanie Mg charakteryzowało złoża nr 6 i 5 uformowane z torfów niskich i wysokich z podłożem popiołu K (z węgla kamiennego). Zatrzymanie Mg przez złoża w pierwszej fazie (3 miesiące) filtracji wody (odciek 1–3) nastąpiło w granicach od 81,1% (złoże nr 2: torf niski + piasek) do 99,93% (złoże nr 4: torf niski + popiół B).

W dalszej fazie (4–6 miesięcy) filtracji wody przez złoża (odciek 4–6) nie było zatrzymania Mg na złożu nr 5 i mały procent zatrzymania Mg na złożu nr 6 (17,17%). Zatrzymanie Mg w pozostałych złożach wynosiło od 62,32% (złoże nr 1: torf wysoki + piasek) do 99,96% (złoże nr 4: torf niski + popiół B).

3. **Sód.** Wyplukiwanie Na ze złożów występowało zarówno w pierwszej fazie (1–3 miesiące) oczyszczania (1–3 odciek), jak i w fazie drugiej (4–6 odciek), trwające od 4–6 miesięcy.

Wyplukiwanie Na wystąpiło ze złożów torfowych z podłożem popiołu B (z węgla brunatnego). Największe zatrzymanie Na przez złoża nastąpiło w pierwszej fazie filtracji (1–3 miesiące) na złożu nr 5: torf wysoki + popiół K (77,13%). W drugiej fazie filtracji (4–6 miesięcy) największe zatrzymanie Na nastąpiło na złożu nr 6: torf niski + popiół K (51,74%).

4. Analiza wariancji w większości przypadków wykazała istotny statystycznie wpływ stosowanego złoża, jak i numeru odcisku na procent zatrzymania badanych pierwiastków przez złoża, przy poziomie istotności  $NIR_{0,05}$  (w funkcji numeru odcisku i rodzaju złoża).

## Literatura

- BIERNACKAE., LIWSKI S., MACIAK F. 1987: *The effect of wastewaters of starch factories and breweries on physico-hydrological properties of much — peat soils*. Ann. Warsaw Agricult. Univ. SGGW, Land Reclam. 23, s. 11–18.
- EKMANE., ASPLUND D. 1975: *Peat in wastewater treatment*. Int. Peat Soc. Symp. Peat Chemistry and Physics. Technical Research Centre of Finland Rept. 5 26 pp.
- FARNHAM R. S., BROWN J. L. 1972: *Advanced wastewater treatment using organic and inorganic materials*. Part I. Use of peat and peat-sand filtration media. Proc. Int. Peat Cong. Fourth 4, Helsinki s. 271–286.
- HAMMER D. E., KADLEC R. H. 1980: *Ortho-phosphate adsorption of peat*. Proc. Int. Peat Cong., Sixth, Duluth, s. 563–569.
- HARTLAND-ROWE R., WRIGHT P. 1975: *Effects of sewage effluent on a swampland stream*. Verh. Int. Verein. Limnol., 19, s. 1575–1583.
- JAMES K., McLELLAN CHET A. 1986: *The application of peat in environmental pollution control*. Int. Peat Journal I s. 1–14.
- KUNTZE H., FEIGE V. 1977: *Zdolności filtracyjne różnych rodzajów torfów w stosunku do niektórych mikroelementów*. Seminarium naukowe nt. Oczyszczanie i utylizacja ścieków w środowisku glebowym i wodnym jako jeden z głównych kierunków realizacji Konferencji Helsińskiej, Szczecin-Warszawa.

- MACIAK F., BIERNACKA E., KURZAWSKI G.  
1994a: *Oczyszczanie ścieków komunalnych (surowych) przy użyciu torfów i popiołu z elektrowni*. Roczniki Gleboznawcze T. XLIV 3/4, s. 179–192.
- MACIAK F., BIERNACKA E., KURZAWSKI G.  
1993b: *Oczyszczanie gnojowicy przy użyciu torfów i popiołu z elektrowni*. Roczniki Glebozn. T. XLIV 3/4, s. 165–178.
- HERMANOWICZ W. i wsp. 1976: *Fizykochemiczne badania wody i ścieków*. Arkady, Warszawa.
- OSTROWSKA A., GAWLIŃSKI Ś., SZCZUBIAŁKO Z. 1991: *Metodyka analizy i oceny właściwości gleb i roślin*. Katalog, Warszawa.

## Summary

**Investigation on the purification of polluted water by peat — mineral deposits: removal of Ca, Mg and Na.** Lisimetric and laboratory experiments on the purification of the polluted water from: Ca, Mg, Na by various peat — mineral deposits were carried out

the peat deposits were constructed of high and low peats with the layer of sand, ash (from hard and brown coal) as well ash layer of zeolit under the peat layer.

In consequence of the application the rate (300 + 300 mm) of the polluted water (during 3 + 3 months) on the surface deposit, the cleaning effects of the deposits, were the largest for Ca and Mg and the smallest for Na.

The percent reduction of the chemical components in water after purification (through deposits) were differentiate in dependence of kind of deposit, amounting from 60,83 to 97,48% for Ca, from 17,17 to 99,96% for Mg and from: 51,74 to 77,13% for Na. During the purification process of the polluted water the Na was very intensively leached from some deposits.

## Authors' address:

E. Biernacka, F. Maciak, G. Kurzawski  
Warsaw Agricultural University  
ul. Nowoursynowska 166  
02-766 Warszawa