

## Ocena jakości wody (gmina Złoty Stok, Dolny Śląsk) zanieczyszczonej arsenem w oparciu o makrozoobentos

Magda Szmigielska<sup>1</sup>, Magdalena Wróbel<sup>1</sup>,  
Agnieszka Stojanowska<sup>1</sup>, Justyna Rybak<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Wrocławska, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

\* Autor do korespondencji: [justyna.rybak@pwr.edu.pl](mailto:justyna.rybak@pwr.edu.pl)

### STRESZCZENIE

W pracy dokonano oceny jakości trzech cieków w gminie Złoty Stok: Czysty Potok, Mąkolnica i Trujący Potok, które w przeszłości były znacznie skażone arsenem, pochodzącym z zanieczyszczeń związanych z działalnością dawnej kopalni złota i były przyczyną chorób mieszkańców gminy. W wyniku badań stwierdzono niewielkie przekroczenie stężenia arsenu w wodach Trującego Potoku, w pozostałych badanych wodach nie stwierdzono takich przekroczeń. Wyniki badań biologicznych sugerują jednak istotny wpływ wszystkich badanych cieków na biocenozę wodną, ponieważ wszystkie wody zostały sklasyfikowane jako słabej jakości na podstawie wskaźnika bioróżnorodności Margelafa. Z kolei indeks biotyczny BMWP-PL, który nie bierze pod uwagę liczebności osobników w poszczególnych próbkach, a przez to jest mniej dokładny pozwolił na sklasyfikowanie wód Trującego Potoku jako wód o słabej jakości ekologicznej a pozostałe dwa cieki: Czysty Potok i Mąkolnica zostały uznane za wody o umiarkowanej jakości. Zastosowane metody umożliwiają określenie stanu ekologicznego wód, a tym samym ocenę wpływu zanieczyszczeń na biocenozę wodną. W tym przypadku nie tylko obecność arsenu miała wpływ na stwierdzoną słabą jakość wszystkich wód, za taki stan rzeczy należy także wniść inne działania ludzkie na tym obszarze.

**Słowa kluczowe:** makrobezkręgowce, metale ciężkie, jakość wody, arsen

## The assessment of water quality contaminated with arsenic based on macroinvertebrates (Złoty Stok, Lower Silesia)

### ABSTRACT

The quality of three water bodies: Czysty Potok, Mąkolnica and Trujący Potok was assessed in the commune Złoty Stok, which was contaminated with arsenic in the past, derived from the activity of an ancient gold mine, and caused illnesses of commune residents. In our studies, the arsenic concentrations slightly exceeded the norm values only in Trujący Potok, in the rest of the studied waters the arsenic content was very low. However, the results of biological studies based on macroinvertebrates suggest the significant influence of all examined sites on the water biocoenosis, since all waters were classified as low quality, based on the Margalef biodiversity index. The biotic index BMWP-PL which does not take the number of specimens into consideration, and because of that is less accurate, classified the waters of Trujący Potok as low ecological quality, but two remaining waters Czysty Potok and Mąkolnica were recognized as moderate waters. To summarize, the applied indices enable to determine the ecological state of waters, and hence to assess the impact of pollutants on the water biocoenosis. The presence of the arsenic was not the only factor affecting the poor quality of all waters; the human activity in this area also contributed significantly to the inferior condition of environment.

**Keywords:** macroinvertebrates, arsenic, heavy metals, water quality

## WPROWADZENIE

Obecnie mamy do czynienia z ogromnym problemem, jakim są zmniejszające się zasoby wody pitnej, ponadto nadal stale pogarsza się stan ekologiczny wielu wód. Z zanieczyszczeniem wód mamy do czynienia, kiedy dochodzi do niekorzystnych zmian fizycznych, chemicznych czy biologicznych w wodzie. Niezwykle groźne są zanieczyszczenia pochodzenia antropogenicznego takie jak odpady, ścieki przemysłowe oraz odchody. Ich niekorzystny wpływ związany jest z zawartością licznych środków chemicznych, detergentów, oraz metali ciężkich. Przekroczenie dopuszczalnych stężeń szkodliwych substancji w wodach może być szkodliwe dla zdrowia ludzi i zwierząt, a nawet prowadzić do ich śmierci. Z tego względu bardzo ważne jest prowadzenie regularnych badań jakości wód oraz, w przypadku przekroczenia norm stężeń, poprawianie ich jakości i zapobieganie dalszej degradacji. Ocena biologiczna opiera się obecnie o analizę fitoplanktonu, fitobentosu, makrofitów, zoobentosu oraz ryb. Te taksony są bardzo wrażliwe na wszelkie zmiany, dlatego też są znakomitym źródłem informacji, jeśli chodzi o wpływ zanieczyszczeń na biocenozę wodną. Za najbardziej powszechnie organizmy wskaźnikowe uznaje się makrobezkręgowce. Są one doskonałymi bioindykatorami ze względu na stosunkowo długi cykl życiowy, ograniczoną mobilność, małą wrażliwość na sezonowość i łatwość w identyfikacji do rodzin. Co więcej, są łatwe i tanie w pozyskaniu [Panek 2011].

Arsen jest składnikiem wód naturalnych i występuje w zróżnicowanych ilościach, zależnie od otaczających utworów geologicznych i stopnia skażenia środowiska. Do naturalnych źródeł arsenu zalicza się erupcje wulkanów oraz ługowanie ze skał, a do antropogenicznych procesy wydobywania i hutnictwa rud metali nieżelaznych czy nawożenie gleb. Pierwiastek ten wykazuje zdolność do akumulowania się w osadach i organizmach, a występując w podwyższonych ilościach ma bardzo silne działanie toksyczne. Oczywiście jest więc, że występując w wodach w zbyt dużych stężeniach ma negatywny wpływ na organizmy wodne [Tyrka i Czumał-Bieniecka 1996].

Na terenie Gminy Złoty Stok głównymi źródłami tego pierwiastka jest dawna kopalnia złota i towarzyszące jej hałdy po procesach otrzymywania złota z wypałków arsenu metodą chlorowania, z których wody płynące skutecznie wypłukują

arsen. Dodatkowym źródłem są spływy wód ze znajdującego się pod Złotym Stokiem zakładu produkującego niegdyś arsenik [Tyrka i Czumał - Bieniecka 1996].

Celem badań była ocena wpływu skażenia arsenem na organizmy żywe (na podstawie analizy zgrupowań makrobezkręgowców), a tym samym ocena jakości wody wybranych cieków w gminie Złoty Stok (tj. Mąkolnicy, Czystego Potoku, Trującego Potoku) pod kątem ich skażenia arsenem.

## MATERIAŁY I METODY

### Opis stanowisk badawczych i pobór próbek do badań

Wybrane stanowiska badawcze znajdowały się w południowo-zachodniej Polsce, w województwie dolnośląskim, na obszarze gminy Złoty Stok. Zarówno w wodach powierzchniowych jak i podziemnych na terenie gminy Złoty Stok odnotowano podwyższone stężenie arsenu od dopuszczalnej normy ( $0,01 \text{ mg As/dm}^3$ ), niemożliwa to na wielu odcinkach spożycie wody przez ludzi i zwierzęta. Zanieczyszczenie metalem znajduje swoje źródła w wyrobiskach górniczych kopalni, w których wydobywano rudy złota. Największa ilość zanieczyszczonej wody spływa ze zbocza Gór Złotych oraz wypływa z zakładu, gdzie kiedyś produkowano arsenik – nieopodal Trującego Potoku, w Błotnicy pod Złotym Stokiem. Zbocza od północnej części Gór Złotych pełnią funkcję zlewni dla wód powierzchniowych w gminie. Woda przepływa wyrobiskami górniczymi i hałdami wypałków poarsenowych, jej nurt powoduje wypłukiwanie arsenu skąd trafia w dolne partie gminy. Arsen to pierwiastek ciężko wykrywalny w naturalnym środowisku, a jego toksyczność zależy do formy w jakiej występuje. Jego dawka śmiertelna wynosi 70-180 mg, przy dziennym spożywaniu wody zanieczyszczonej arsenem powoduje ciężkie zatrucie. Długotrwałe spożywanie zanieczyszczonej wody powoduje też zachorowalność na nowotwory. W XX wieku na terenie Złotego Stoku w wodzie powierzchniowej dostępnej do spożycia przez ludzi stężenie arsenu wynosiło  $12,25 \text{ mg As/dm}^3$ . Miało to swoje odzwierciedlenie w stanie zdrowia mieszkańców gminy, co określano „chorobą złotostocką“ i skutkowało zbudowaniem nowego źródła poboru wody pitnej, z bardziej udoskonaloną mechaniką i dokładniejszym procesem oczyszczania [Giża 2004].

W związku z powyższym wybrano następujące stanowiska badawcze:

- Stanowisko 1: Złoty Jar, ciek: Czysty Potok, współrzędne GPS: 50.436106, 16.873085. Woda na tym stanowisku charakteryzowała się wysoką przejrzystością, nie odnotowano zwiększonej mętności, ani nieprzyjemnego zapachu. Podłoże było kamieniste, pokryte mułem, pozbawione roślinności wodnej.
- Stanowisko 2: Mąkolno, ciek: Mąkolnica, współrzędne GPS: 50.451871, 16.840431. Ciek charakteryzował się dużą przejrzystością, kamienistym dnem i wartkim nurtem. Na stanowisku odnotowano roślinność wodną. Zaobserwowano wykorzystanie wody do celów rolniczych oraz gospodarczych.
- Stanowisko 3: Błotnica, ciek: Trujący Potok, współrzędne GPS: 50.481432, 16.931356. Nazwa cieku ma związek z jego dawnym znacznym zanieczyszczeniem pochodzącym z wypłukiwania z naturalnych złóż arsenu. Dodatkowo, na zanieczyszczenie cieku może mieć też wpływ Zakład Farb i Rozpuszczalników, mieszczący się w Złotym Stoku. Woda jest przejrzysta, ale charakteryzuje się nieprzyjemnym zapachem. Dno pokryte jest mułem.

## METODYKA BADAŃ

Analizę chemiczną wody na wszystkich 3 stanowiskach badawczych przeprowadzono w laboratorium EKOLOGIS przy ul. Marii Skłodowskiej-Curie 55/61 we Wrocławiu. Określono jedynie stężenie arsenu (za pomocą metody FAAS czyli płomieniowej absorpcyjnej spektrometrii atomowej) oraz zmierzono pH.

Jakość wód jest oceniana na podstawie norm europejskich i krajowych z zakresu poboru wielosiedliskowych próbek makrobezkręgowców bentosowych w rzekach średnich oraz małych. Wytyczne te zostały zaakceptowane przez Polski Komitet Normalizacyjny. Poboru próbek makrobezkręgowców dokonano w optymalnych warunkach tj. pod koniec wiosny oraz na początku jesieni. Na reprezentatywną próbkę składało się 20 próbek cząstkowych. Pierwszym krokiem było wybranie reprezentatywnego fragmentu rzeki oraz wykonanie procentowej oceny udziału poszczególnych typów pokrycia dna, z uwagi na to, aby brany pod uwagę substrat mineralny bądź organiczny miał co najmniej 5% udział. Kolej-

nym etapem był pobór próbek za pomocą siatki hydrobiologicznej i oczyszczenie próbek z obiektów nie będących przedmiotem badań. Na końcu zakonserwowano próbki za pomocą alkoholu, zaetykietowano i przetransportowano je do laboratorium gdzie jeszcze raz dokładnie oczyszczono próbki i przystąpiono do identyfikacji taksonomicznej. Szczegółowy opis metodyki zamieszczono w pracy Bis i Mikulec [2013].

Do oceny jakości wody wykorzystano polski indeks biotyczny BMWP-PL (z ang. Biological Monitoring Working Party) czyli Sumaryczny Wskaźnik Jakości Wody [Klimaszyk i Trawiński 2007]. W tym systemie każdy takson bezkręgowców ma przypisaną odpowiednią punktację, zależną od jego wrażliwości na zanieczyszczenia. Im takson bardziej wrażliwy, tym więcej ma przypisanych punktów [Bis i Mikulec, 2013]. W celu zwiększenia dokładności oceny jakości wód stosuje się dodatkowo wskaźnik bioróżnorodności Margalefa obliczany według wzoru:  $d=(S-1)/\ln N$ , gdzie: s-liczba taksonów, N-całkowita liczba osobników [Ciecierska i Dynowska 2013].

## WYNIKI

### Analiza chemiczna wody

W tabeli 1 przedstawiono otrzymane wyniki stężeń arsenu w badanych wodach wraz z pomiarem pH. Według Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 r. dopuszczalna zawartość arsenu w wodzie powierzchniowej wynosi 0,01 mg/l. Przekroczenie tej zawartości zaobserwowano jedynie w Trującym Potoku. Analizując wartości pH cieków stwierdzono, że Czysty Potok ma odczyn lekko kwaśny, pozostałe wykazują odczyn lekko zasadowy.

### Sumaryczny Wskaźnik Jakości Wody (BMWP-PL) i wskaźnik bioróżnorodności Margalefa

W tabeli 2 przedstawiono liczbę taksonów (S), całkowitą liczbę osobników zaobserwowanych w danym cieku (N) oraz obliczone wartości Sumarycznego Wskaźnika Jakości Wody (BMWP-PL) i wskaźnika bioróżnorodności Margalefa (d).

Najwyższą wartość BMWP-PL osiągnęła woda z Mąkolnicy, niewiele niższą z Czystego Potoku i najniższą – Trujący Potok. Możliwe więc jest zakwalifikowanie Trującego Potoku do cieków o słabym stanie ekologicznym, a Mąkolnicy i Czystego Potoku jako cieków o umiar-

**Tabela 1.** Zawartość arsenu oraz pH badanych próbek wody**Table 1.** The Concentration of arsenic at studied sites

L.p.	Stanowisko	Zawrtość arsenu, mg/l	Wartość pH
1	Czysty Potok	<0,01	6,6
2	Mąkolnica	0,005	7,6
3	Trujący Potok	0,023	7,7

**Tabela 2.** Wyniki BMWP-PL oraz indeksu bioróżnorodności dla badanych cieków**Table 2.** The results of BMWP-PL and Margalef biodiversity index (d) for studied sites

Stanowisko	Liczba taksonów przyjęta do obliczeń (S)	Całkowita liczba osobników (L)	BMWP-PL	d
Czysty Potok	11	197	54	1,9
Mąkolnica	8	105	56	1,5
Trujący Potok	6	60	20	1,2

**Tabela 3.** Klasyfikacja stanu ekologicznego rzek według indeksu biotycznego (BMWP-PL) i indeksu bioróżnorodności Margalefa (d) [Klimaszyk i Trawiński 2007]**Table 3.** Classification of ecological state according to biotic index (BMWP-PL) and Margalef biodiversity index (d) [Klimaszyk i Trawiński 2007]

Stan ekologiczny rzeki	BMWP-PL	Indeks bioróżnorodności Margalefa (d)
Bardzo dobry	>100	>5,50
Dobry	70–99	4,00 – 5,49
Umiarkowany	40–69	2,50 – 3,99
Słaby	10–39	1,00 – 2,49
Zły	<10	<1,00

kowanym stanie ekologicznym. Do badań wykorzystano także indeks bioróżnorodności (d), uwzględniający liczbę organizmów z każdego zaobserwowanego gatunku. Wartości tego indeksu przedstawiono też w tabeli 3. Najwyższy wynik przyznano wodom z Czytego Potoku, nieco niższą Mąkolnicy, a wody Trującego Potoku otrzymały najniższy wynik.

Według indeksu bioróżnorodności Margalefa (d) Trujący Potok zakwalifikowano jako ciek o słabym stanie ekologicznym, co pokrywa się z klasyfikacją wg. indeksu biotycznego BMWP-PL. Ciek Mąkolnica oraz Czysty Potok, według BMWP-PL zostały sklasyfikowane jako rzeki o umiarkowanym stanie ekologicznym, a według indeksu bioróżnorodności Margalefa (d) stan ekologiczny tych cieków oceniono także jako słaby.

## DYSKUSJA

Celem przeprowadzonych badań była ocena jakości wód wybranych cieków pod względem zawartości arsenu a tym samym ocena wpływu

stężenia tego pierwiastka na organizmy żywe w oparciu o badania zgrupowań makrobezkręgowców bentosowych.

Według danych Urzędu Miasta i Gminy w gminie Złoty Stok istnieje ponad 10 nielegalnych składowisk odpadów, skąd wraz z deszczem wypłukiwane są zanieczyszczenia, które przenikają do gleb i pobliskich cieków wodnych. Prawdopodobnie znaczna część zanieczyszczeń w cieku Trujący Potok pochodzi z Zakładu Farb i Rozpuszczalników, mieszczącego się w Złotym Stoku [Plantos 2016]. Na przestrzeni lat zakład ten przekształcał się i przechodził od wydobywania złota, przez produkcję koncentratów arsenowych, aż po produkcję farb i lakierów, wypuszczając przy tym do środowiska znaczne ilości arsenu i arseniku. Obecnie zakład ten prowadzi działalność w zakresie unieszkodliwiania odpadów przemysłowych, a także posiadają swoje składowisko, które znajduje się około 100 m od cieku Trujący Potok. Zanieczyszczenie cieku związane jest z nieprawidłowym składowaniem odpadów wytwarzanych na terenie tego zakładu, niezgodnym z wymogami roz-

porządzenia w sprawie rodzaju odpadów, które można składować w sposób nieselektywny. Co więcej, w odciekach jednej z kwater składowiska odnotowano przekroczenie stężenia cynku i chromu. W roku 2003 przeprowadzono badania wód podziemnych oraz powierzchniowych, mające na celu ocenę oddziaływania składowiska na środowisko. Analizy wykazały niską jakość wód na dopływie oraz odpływie wód z kwater, co spowodowane było przemysłowym charakterem obszaru składowiska oraz dawną działalnością huty arsenu [Plan Gospodarki Odpadami Gminy Żłoty Stok 2004].

Co ciekawe, w oparciu o analizę makrobezkręgowców odnotowano, że w dwóch ciekach (Czysty Potok i Mąkolnica) występują widelnice (Plecoptera), które charakteryzują się wysoką wrażliwością na zanieczyszczenia znajdujące się w wodzie. We wszystkich rzekach wystąpiły larwy muchówek (Diptera), będące wskaźnikami słabej jakości wód. Na stanowiskach Czysty Potok i Mąkolnica odnotowano larwy chruścików (Trichoptera). Występują one w wodach czystych i słabo zanieczyszczonych. Zaobserwowano także występowanie pijawek, pojawiających się w wodach umiarkowanie i silnie zanieczyszczonych. Tylko na stanowisku Trujący Potok odnotowano skąposzczety (Oligochaeta), świadczące o wodach skrajnie zanieczyszczonych i ubogich w tlen [Bis i Mikulec 2013].

Przeprowadzone w pracy badania potwierdzają niekorzystny wpływ nieznacznie zwiększonego stężenia arsenu na stan ekologiczny wód i wskazują na zanieczyszczenie badanych cieków. Warto zauważyć, że wykorzystane metody badawcze (wskaźnik bioróżnorodności Margalefa oraz indeks biotyczny BMWP-PL) nie dały takich samych wyników. Wskaźnik bioróżnorodności Margalefa wskazywał na słabą jakość wszystkich badanych wód, natomiast indeks BMWP-PL na gorszą jakość Trującego Potoku w porównaniu do Czystego Potoku i Mąkolnicy. Ma to związek z samą formułą zastosowanych indeksów, jak wcześniej wspomniano, wskaźnik Margalefa można uznać za bardziej dokładny, ponieważ bierze pod uwagę także liczebność zebranych bezkręgowców w danych próbkach. Wyniki, szczególnie te uzyskane za pomocą wskaźnika Margalefa, wskazują na słabą kondycję badanych wód, dowodzi to, że makrobezkręgowce są bardzo wrażliwe na zanieczyszczenie wód metalami. Zaobserwowano nawet, że w porównaniu do innych organizmów wodnych takich jak okrzemki są one

bardziej wrażliwe na tego typu zanieczyszczenia, co jest spowodowane tym, że te grupy ekologiczne (makrobezkręgowce i okrzemki) stanowią inne ogniwa łańcucha troficznego (producenci i konsumenci). Stąd może cechować je inna wrażliwość na zawarte w wodzie i osadach dennych zanieczyszczenia. Arsen ma skłonność do kumulowania się w osadach, dlatego też wywiera większy wpływ na organizmy osadów dennych, takich jak makrobezkręgowce bentosowe [Hirst et al. 2002]

Reasumując, zastosowane metody biotyczne umożliwiają określenie stanu ekologicznego wód a tym samym ocenę wpływu zanieczyszczeń na biocenozę wodną.

## WNIOSKI

1. Przekroczenie dopuszczalnej zawartości arsenu zaobserwowano jedynie w cieku Trujący Potok, w pozostałych dwóch ciekach wartości te mieściły się w granicach normy. Przekroczone stężenie tego pierwiastka ma związek z wpływem czynników antropogenicznych (wypłukiwanie arsenu z pobliskich hałd i wpływ Zakładu Farb i Rozpuszczalników oraz pobliskiego składowiska odpadów).
2. Wykorzystując zgrupowania makrobezkręgowców bentosowych zakwalifikowano badane cieki jako słabe w odniesieniu do ich stanu ekologicznego. Wyniki indeksu BMWP-PL pokryły się z wynikami analizy chemicznej jakości wód. W oparciu o te wyniki uznano, że cieki Czysty Potok charakteryzuje się najwyższą jakością wód, a Trujący Potok najniższą. Z kolei klasyfikacja wszystkich trzech badanych wód według wskaźnika Margalefa pozwoliła na ich zaliczenie do słabych pod kątem ich stanu ekologicznego.
3. Zanieczyszczenie wód arsenem ma wpływ na organizmy wodne, a także stan ekologiczny całego cieku. Podwyższona zawartość arsenu niekorzystnie wpływa na makrobezkręgowce bentosowe, co skutkuje ich niską bioróżnorodnością.

## Podziękowania

Badania finansowane przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach badań statutowych nr 0401/0004/17 Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej.

## BIBLIOGRAFIA

1. Bis B., Mikulec A. 2013. Przewodnik do oceny stanu ekologicznego rzek na podstawie makrobezkręgowców bentosowych. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa.
2. Ciecierska H., Dynowska M. 2013. Biologiczne metody oceny stanu środowiska. Tom II. Ekosystemy wodne. Uniwersytet Mazurski w Olsztynie.
3. Giża W. 2014. Strategia rozwoju gminy Złoty Stok. Złoty Stok. Urząd Miejski w Złotym Stoku.
4. Hirst H., Juttner I., Ormerod S.J. 2002. Comparing the responses of diatoms and macroinvertebrates to metals in upland streams of Wales and Cornwall. *Freshwater Biology*, 47(9), 1752-1765.
5. Klimaszuk P., Trawiński A. 2007. Ocena stanu rzek na podstawie makrobezkręgowców bentosowych. Indeks BMWP-PL. Poznań. GIOŚ.
6. Panek P. 2011. Wskaźniki biotyczne stosowane w monitoringu wód od czasu implementacji w Polsce ramowej dyrektywy wodnej. *Przegląd Przyrodniczy*, XXII (3), 111-123.
7. Plan Gospodarki Odpadami Gminy Złoty Stok, 204, Złoty Stok.
8. Plantos R. 2016. Analiza gospodarki wodnościekowej w mieście i gminie Złoty Stok wraz z koncepcją modernizacji prac magisterska napisana pod kierunkiem dr inż. hab. K. Majewskiej-Nowak, Wrocław, Politechnika Wrocławska.
9. Tyrka E., Czumak-Bieniecka, 1996. Historia polskiego przemysłu odczynników chemicznych. Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego, Warszawa.