

## Parametr AOX — wskaźnik zanieczyszczenia osadów wodnych związkami chloroorganicznymi

Izabela Bojakowska\*, Andrzej Bellok\*

**AOX parameter — pollution coefficient of water sediments by chloroorganic compounds.** Prz. Geol., 49: 780–784.

*A method for determining AOX (adsorbable organic halogens) in water sediments was worked out. This was implemented for assessment of pollution degree of river and lake sediments by chloroorganic compounds. The AOX parameter for unpolluted river sediments does not exceed 20 mgCl/kg; in turn, the values over 50 mgCl/kg may indicate pollution of these sediments by chloroorganic compounds of anthropogenic origin. The lake sediments, naturally enriched in organic matter, show higher values of this parameter reaching about 80 mgCl/kg. Their pollution by chloroorganic compounds can be marked by higher values exceeding 90–100 mgCl/kg. Sediments featured by the presence of polychlorinated biphenyls show elevated AOX parameter. Determinations of this parameter can be used for selecting samples, in which concentrations of hazardous chloroorganic compounds should be investigated.*

**Key words:** water sediments, AOX parameter, chloroorganic compounds

Zanieczyszczenie chemiczne środowiska przyrodniczego jest związane nie tylko ze wzrostem w nim stężenia niektórych pierwiastków śladowych, ale również z obecnością i wzrostem zawartości szkodliwych związków organicznych m.in. związków chloroorganicznych. Związki te odznaczają się stosunkowo dużą trwałością w środowisku przyrodniczym i są w nim rozpowszechnione na dużą skalę (Juttner i in., 1997; Fattore i in., 1997; Kjeller & Rappe, 1995). Liczba związków chloroorganicznych obecnych w środowisku, pochodzących ze źródeł antropogenicznych znacznie przewyższa ilość związków pochodzenia naturalnego i jest to najczęściej związane z ich przenikaniem z procesów technologicznych (np. syntezy związków organicznych zawierających chlor), z odprowadzaniem ścieków zarówno komunalnych, jak i przemysłowych, migracją ze składowisk odpadów, stosowaniem pestycydów w rolnictwie, a także szerokim zastosowaniem w różnych artykułach użytkowych (Ramamoorthy & Ramamoorthy, 1997; Bojakowska & Bellok, 1998). Naturalne pochodzenie związków chloroorganicznych jest związane z biotyczną halogenizacją organicznych substratów, stwierdzoną w różnych morskich organizmach, np. w algach, gąbkach, bakteriach, a także w lądowych porostach i grzybach.

Ze względu na liczebność i różnorodność związków chloroorganicznych występujących w środowisku, do oceny stanu jego zanieczyszczenia stosuje się wskaźniki ogólne, z których najczęściej jest wykorzystywany parametr AOX (*adsorbable organic halogens*) lub EOX (*extractable organic halogens*). Obecnie stosowanie parametru AOX jest zalecane przez Inspekcję Ochrony Środowiska w monitoringu jakości wód podziemnych, a obowiązkowe jest w badaniach ścieków odprowadzanych do wód powierzchniowych (Dz.U. nr 50, 2 czerwca 1999 r.). Związki chloroorganiczne są powszechne w środowisku i dlatego też wszystkie próbki środowiskowe wód, gleb i osadów, nawet te z terenów niezanieczyszczonych charakteryzują się odpowiednią wielkością parametru AOX. Na przykład wielkość parametru AOX w opadach atmosferycznych nad północną Szwecją, Finlandią lub rosyjską

tundrą mieści się przeważnie w zakresie 1–5 µg Cl/l (ze względu na obecność w opadach niewielkich ilości m.in. dichloronitrometanu i chlorbenzenów, naturalnego pochodzenia), podczas gdy w opadach nad północną Szwecją w latach 80. wynosiła średnio 15 mg Cl/l, a w Niemczech — 20 mg Cl/l (Asplund & Grimvall, 1991). Wartość parametru AOX w czystych wodach powierzchniowych mieści się najczęściej w granicach 1–50 mg Cl/l, chociaż wysokie stężenia AOX, nawet do 200 mg Cl/l są obserwowane w niezanieczyszczonych wodach o bardzo wysokiej zawartości substancji humusowej, ze względu na obecność w takich wodach kwasu chlorooctowego. W Niemczech wody powierzchniowe zawierające do 5 mg Cl/l uznaje się za wody miernie zanieczyszczone, wody zawierające od 5 do 20 mg Cl/l są określane jako wody słabo zanieczyszczone, zaś za silnie i bardzo silnie zanieczyszczone uznaje się wody zawierające odpowiednio 20–40 mg Cl/l i >40 mg Cl/l (Hutter, 1994). Wielkość parametru AOX w glebach leśnych mieści się w przedziale 20–360 mg Cl/kg, a w torfach w zakresie 70–250 mg Cl/kg (Asplund & Grimvall, 1991). Na ogół niezanieczyszczone osady słodkowodne charakteryzują się zawartością AOX ok. kilku mg Cl/kg. W osadach morskich u wybrzeży Niemiec średnia zawartość AOX wynosi ponad 150 mg Cl/kg (Müller & Schilling, 1998). W Niemczech osady wodne, które mogą być rolniczo wykorzystane nie mogą zawierać więcej niż 50 mg/kg AOX (Heiniger, 1999). Zawartość AOX w osadach ściekowych z oczyszczalni na terenie Polski występuje najczęściej w zakresie 170–300 mgCl/kg s.m., a więc poniżej 500 mg Cl/kg s.m. dopuszczalnej zawartości w osadach, które można wykorzystywać w rolnictwie (Bernacka & Pawłowska, 2000).

Wielkość parametru AOX w materiałach środowiskowych jest dodatnio skorelowana z zawartością substancji organicznej (TOC). W wodach powierzchniowych stosunek AOX/TOC waha się od 0,84–14,5 mg Cl/g C, w glebach jest znacznie mniejszy i wynosi od 0,22–2,8 mg Cl/gC (Asplund & Grimvall, 1991).

Niektóre spośród związków chloroorganicznych, takie jak pestycydy chloroorganiczne i ich metabolity, polichlorowane bifenyle oraz dioksyny odznaczają się wysoką toksycznością lub potencjalną kancerogennością w stosunku do zwierząt i jednocześnie charakteryzujące się dużą trwałością w środowisku i podlegające bioakumulacji, są

\*Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa

**Tab. 1. Wyniki oznaczeń parametru AOX w badaniach międzylaboratoryjnych Programu SETOC 2000**  
**Table 1. Results of determinations of AOX parameter derived from interlaboratory comparison (Program AETOC 2000)**

| Symbol próbki | Parametr AOX (mg Cl/kg) | TOC %                          |                    |                                |
|---------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------------|
|               | mediana SETOC 2000      | Państwowy Instytut Geologiczny | mediana SETOC 2000 | Państwowy Instytut Geologiczny |
| Sediment 751  | 103 ± 5,5               | 103                            | 39,8 ± 3,0         | 36,8                           |
| Sediment 737  | 129 ± 11,5              | 126                            | 111 ± 8,0          | 101                            |
| Sediment 741  | 73,5 ± 7,6              | 79,5                           | 46,4 ± 5,6         | 45,7                           |
| Sediment 701  | 40,8 ± 2,2              | 42,6                           | 35,2 ± 4,7         | 33,4                           |

zaliczane do trwałych zanieczyszczeń organicznych (POP — *Persistent Organic Pollutants*). Spośród tych związków dużą uwagę zwraca się na polichlorowane bifenyle (PCBs). Związki te od końca lat dwudziestych aż do wczesnych lat siedemdziesiątych, kiedy to stwierdzono ich szkodliwe właściwości rakotwórcze, toksyczne, teratogenne, immunodepresyjne, a także zdolność do bioakumulacji (współczynnik biomagnifikacji ~ 50 000) — miały szerokie zastosowanie przemysłowe. Szacuje się, że w ciągu 40 lat wyprodukowano w przybliżeniu 1,5 mln t PCBs, z których 20–30% przeniknęło do środowiska (Schmelling i in., 1998). Mimo wstrzymania ich produkcji i stosowania, pozostają w użyciu w istniejących urządzeniach i produktach. Obecnie związki te przenikają do środowiska w następstwie wycieków smarów z pojazdów i maszyn, wycieków z uszkodzonych wymienników ciepła i transformatorów oraz podczas spalania śmieci. Ze względu na wysoką prężność par (na ogół w zakresie  $10^{-1}$  do  $10^{-5}$  Pa) stosunkowo łatwo ulatniają się do atmosfery z gleb, osadów i składowisk odpadów i ich atmosferyczna depozycja zarówno z suchymi jak i mokrymi opadami odgrywa ważną rolę w obiegu w środowisku (Offenberg & Baker, 1997; Eisenberg i in., 1998). We współczesnych osadach PCBs są wykrywane w bardzo szerokim zakresie zawartości, od ilości mniejszych niż granica oznaczalności (<0,01 µg/kg) do stężeń dochodzących w ekstremalnych sytuacjach do kilkuset mg/kg (Kannan i in., 1997; Brüggmann,

1998; Müller & Schilling, 1998; Zhou i in., 1999). Według przepisów kanadyjskich dopuszczalna zawartość PCBs w osadach, ze względu na ich ujemne oddziaływanie na organizmy zwierzęce, wynosi 21,5 µg/kg; przy zawartości wyższej niż 190 µg/kg często jest obserwowane ujemne oddziaływanie tych związków na organizmy wodne. W następstwie zaprzestania produkcji tych związków i ograniczenia ich stosowania w ostatnich latach obserwuje się spadek zawartości PCBs w osadach wodnych. Na przykład, zawartość PCBs w osadach zatoki Tokijskiej, datowanych na 1980 r. przekracza 150 µg/kg, podczas gdy w osadach powstających obecnie zawartość tych związków kształtuje się na poziomie ok. 30 µg/kg. (Yamashita i in., 2000).

#### Metodyka i zakres badań

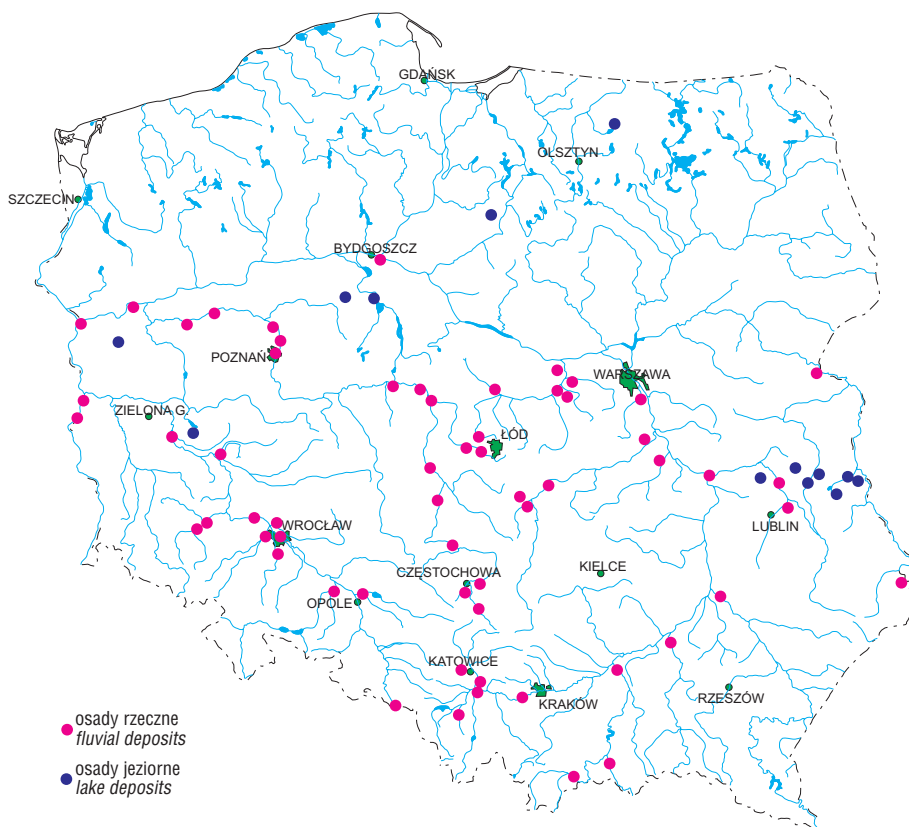
Do badań wykorzystano 62 próbki osadów rzecznych i 19 próbek osadów jeziornych (pobrane z głębozczków) z obszaru Polski (ryc. 1). Wytypowane do badań próbki pochodziły z miejsc, gdzie występują osady charakteryzujące się zróżnicowaną zawartością pierwiastków śladowych (Bojakowska i in., 1999). We wszystkich tych próbkach oznaczono parametr AOX oraz zawartość węgla organicznego, a w wybranych 19 próbkach osadów rzecznych oznaczono także zawartość polichlorowanych bifenili.

**Tab. 2. Parametry statystyczne parametru AOX i węgla organicznego w zbadanych próbkach osadów**

**Table 2. Statistical data of AOX and organic carbon parameters in examined sediment samples**

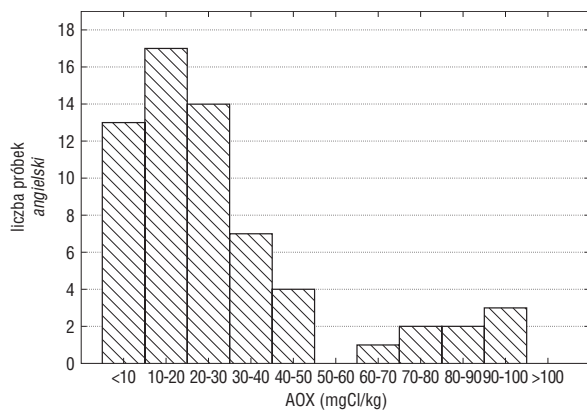
| Parametr              | AOX mg Cl/kg | TOC % | AOX/TOC mg Cl/gC <sub>org</sub> |
|-----------------------|--------------|-------|---------------------------------|
| <b>Osady rzek</b>     |              |       |                                 |
| Zawartość minimalna   | 3,3          | 0,21  | 0,57                            |
| Zawartość maksymalna  | 92,5         | 11,93 | 11,21                           |
| Średnia               | 26,7         | 1,89  | 2,09                            |
| Średnia geometryczna  | 19,5         | 1,16  | 1,68                            |
| Mediana               | 20,9         | 1,05  | 1,56                            |
| <b>Osady jeziorne</b> |              |       |                                 |
| Zawartość minimalna   | 21,8         | 4,40  | 0,10                            |
| Zawartość maksymalna  | 121,0        | 30,30 | 1,27                            |
| Średnia               | 78,5         | 18,68 | 0,50                            |
| Średnia geometryczna  | 72,6         | 17,10 | 0,42                            |

Ze względu na możliwość zanieczyszczenia próbek osadów związkami chloru podczas wykonywania oznaczeń AOX metodą opisaną w normie niemieckiej DIN 3814 cz. 18 *Schlamm und Sediimente. Bestimmung von adsorbierten, organisch gebundenen Halogenen, AOX* opracowano nową metodę „kolumnową”, polegającą na użyciu w procesie adsorpcji, kolumny adsorpcyjnej SAE II Ströhllein, z oprzyrządowaniem stosowanym przy oznaczaniu AOX w ściekach i wodach z zawiesiną. Oznaczania parametru AOX w osadach wyko-



Ryc. 1. Lokalizacja punktów opróbowania rzek i jezior  
Fig. 1. Sampling sites of river and lake sediments

nano za pomocą analizatora COULOMAT 7020 Cl z kolumną adsorbcyjną SAE II Ströhlein. Jako gaz nośny stosowano tlen o szybkości przepływu 55 ml/min. i ciśnieniu zewnętrznym 0,2 bara. Analizy wykonywano przy grzaniu pieca IR (utleniający) w temperaturze 250°C (I stopień) przez 2,5 min. a w temperaturze 950°C (II stopień) — 6,0 min. oraz przy temperaturze pieca oporowego (redukcyjny) 950°C. W poprzedniej metodzie możliwość zanieczyszczenia występowała podczas bezpośredniego kontaktu próbek, węgla aktywnego i stosowanych roztworów z powietrzem laboratoryjnym w trakcie procesu



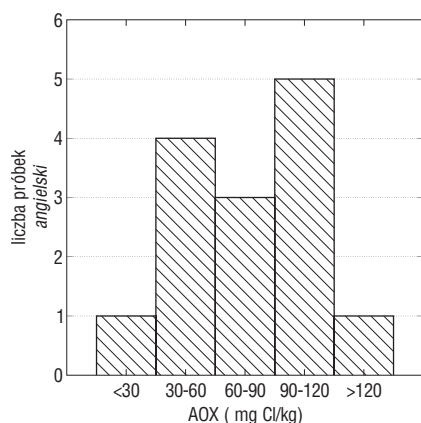
Ryc. 2. Histogram AOX w osadach rzecznych  
Fig. 2. AOX histogram in river sediments

adsorbcji związków chloroorganicznych na węglu aktywnym przy odsączaniu, a następnie płukaniu i ponownym odsączaniu kwaśnych roztworów azotanowych z użyciem pompy ssącej. Podczas tych operacji, różnego rodzaju związki chloru występujące w powietrzu laboratoryjnym, kilkakrotnie przefiltrowanym przez próbkę z węglu aktywnym, mogły zaważyć wyniki analizy w sposób zróżnicowany i niekontrolowany. W opracowanej metodzie zawiesinę uzyskaną z odważki wysuszonej i utartej próbki osadu o masie 20–200 mg oraz 10 ml roztworu podstawowego przygotowanego według normy DIN 3814 cz. 18 wraz z dodatkiem 15 ml roztworu płuczającego, filtrowano przez kolumnę SAE II (wkładka wełny ceramicznej i dwie szklane gilzy wypełnione węglu aktywnym). Po przesączeniu próbki, kolumnę przepłukiwano dodatkową porcją roztworu płuczającego. Cały proces filtracji i płukania odbywa się pod kontrolowanym ciśnieniem azotu.

Opracowana metoda została poddana procedurze walidacji w ramach której określono: granicę oznaczalności metody ( $3s = 2,1$  mg Cl;  $6s = 2,7$  mg Cl), odzysk analitu (94–98%) i precyzję oznaczeń (15–16%). Wiarygodność opracowanej metody potwierdziły wyniki uzyskane w międzynarodowych badaniach porównawczych — PROGRAM SETOC 2000 (tab. 1). Wyniki tych badań dostarczają informacji o dokładności oznaczeń w stosunku do średnich zawartości AOX w osadach, otrzymanych w innych laboratoriach z użyciem różnych metod, technik i aparatury analitycznej.

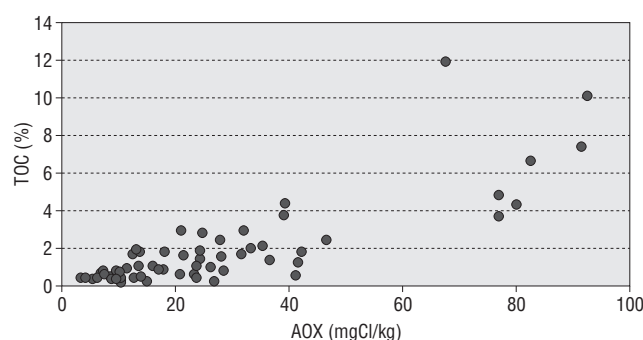
**Oznaczenia zawartości węgla organicznego (TOC)** w osadach wykonano metodą kulometrycznego miareczkowania na aparacie COULOMAT 702 LI firmy Ströhlein z próbki stałej. Utlenianie węgla organicznego przeprowadzono w temperaturze 900°C po odprowadzeniu CO<sub>2</sub> z rozkładu węglanów stężonym HCl. Limit detekcji zawartości węgla organicznego wynosił 0,01%.

**Oznaczenia polichlorowanych bifenyli** w wybranych próbkach przeprowadzono z ekstraktów uzyskanych po ekstrakcji próbek osadów mieszaniną heksan/acetone. Ekstrakty, po odsiarczeniu, oczyszczono od związków polarnych metodą chromatografii kolumnowej (żel krzemionkowy/tlenek glinu). W uzyskanych ekstraktach oznaczono zawartość następujących kongenerów: PCB28 (2,4,4' — trichlorobifenyl), PCB52 (2,2',5,5' — tetrachlorobifenyl), PCB101 (2,2',4,5,5' — pentachlorobifenyl), PCB118 (2,3',4,4',5 — pentachlorobifenyl), PCB153

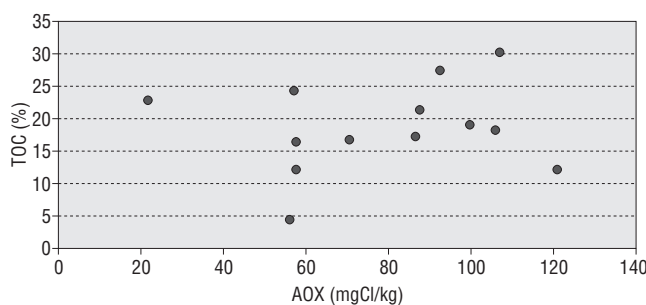


**Ryc. 3.** Histogram AOX w osadach jeziornych  
**Fig. 3.** AOX histogram in lake sediments

(2,2',4,4',5,5' — hexachlorobifenyl), PCB138 (2,2',3,4,4',5 — hexachlorobifenyl) i 180 (2,3',3,4,4',5,5' — heptachlorobifenyl). Analizy PCB's wykonano przy użyciu chromatografu gazowego z detektorem wychwytu elektronów GC-ECD firmy Hewlett-Packard. Rozdziały wykonano na kolumnie kapilarnej HP-5 (długość 50 m, średnica 0,2 mm, film 0,33 mm (5%)—difenyl-(95%)—dimetylopolisiloksanu) stosując programowanie temperatury: 80°C do 200°C—30°C/min, 200°C do 260°C—0,5°C/min. Analizy wykonano metodą wzorca zewnętrznego z zastosowaniem certyfikowanego standardu IPO ISL 1004 Instytutu Przemysłu Organicznego oraz D464 firmy Promochem. Limit detekcji dla poszczególnych kongenerów wynosił 0,1 ppb.



**Ryc. 4.** Parametr AOX i TOC w osadach rzecznych  
**Fig. 4.** AOX and TOC parameter in river sediments



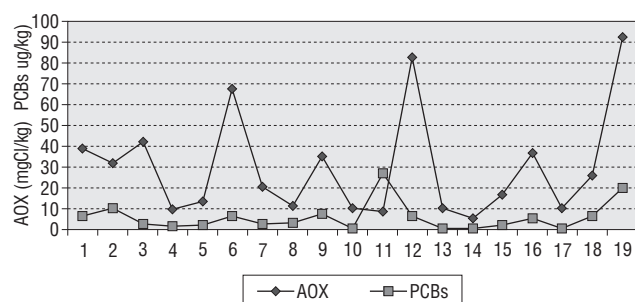
**Ryc. 5.** Parametr AOX i TOC w osadach jeziornych  
**Fig. 5.** AOX and TOC parameter in lake sediment

## Wyniki badań

Zawartość parametru AOX w zbadanych próbkach osadów rzecznych mieściła się w zakresie 3,3–92,5 mg/kg, a ich średnia geometryczna zawartość wynosiła 19,5 mgCl/kg (tab. 1). Na ogół parametr AOX w osadach niezanieczyszczonych rzek nie przekraczał 15 mg Cl/kg, np. w osadach pobranych z Bugu w Krzyczewie czy Radomki w Ryczywole. Wyższe wartości wskaźnika AOX odnotowano w osadach rzek charakteryzujących się wysokimi zawartościami metali ciężkich, do których trafiają olbrzymie ładunki ścieków przemysłowych i komunalnych, m.in. w osadach Warty w Lgocie, Stradomki w Częstochowie, Wisły w Oświęcimiu i Tyńcu, Neru w Mirosławicach, Brynicy w Sosnowcu czy Bzury w Sochaczewie. Częstość występowania różnych klas wielkości parametru AOX w zbadanych osadach rzecznych wskazuje na obecność dwóch populacji, jednej o zawartościach AOX w zakresie do 50 mg Cl/kg, obserwowanych najczęściej w niezanieczyszczonych osadach, oraz drugiej populacji, o wyższych wartościach odnotowanych w osadach zanieczyszczonych rzek (ryc. 2). Natomiast w zbadanych osadach jeziornych, chociaż wielkość tego parametru mieściła się w zbliżonym przedziale wartości: 21–121 mg Cl/kg, jego średnia geometryczna zawartość była znacznie wyższa 72,6 mg Cl/kg w porównaniu ze średnią zawartością w osadach rzecznych. Histogram parametru AOX wskazuje na obecność dwóch nakładających się populacji (ryc. 3).

Związki chloroorganiczne w osadach wodnych związane są przede wszystkim z fazą organiczną. Na ryc. 4 i 5 przedstawiono zależność między zawartością węgla organicznego a wielkością parametru AOX w zbadanych osadach rzek i jezior. Zawartość węgla organicznego w zbadanych osadach rzecznych była w zakresie 0,21–11,93%, a jego średnia geometryczna zawartość wynosiła 1,16% (tab. 2). Współczynnik korelacji między wielkością parametru AOX i zawartością węgla organicznego w osadach rzecznych wynosi  $r = 0,54$ . Stosunek zawartości AOX do zawartości węgla organicznego w zbadanych osadach rzek wahał się od 0,57 mg Cl/gC do 11,2 mg Cl/gC, jego średnia geometryczna zawartość wynosiła 1,68 mg Cl/gC. Jednocześnie wysoką wartością tego współczynnika wyróżniały się nie tylko osady zanieczyszczonych rzek m.in. Bystrzycy we Wrocławiu, ale także osady stosunkowo mało zanieczyszczonych rzek, np. Bugu w Krzyczewie czy Wisłoki w Gawłuszowicach. Jest to spowodowane bardzo dużą zmiennością w zawartości substancji organicznej w osadach pobranych z różnych rzek — od zawartości mniejszych niż 0,01% do nawet kilkunastu procent. Z tego powodu porównywanie wartości stosunku AOX/TOC w osadach rzecznych może być wykorzystywane jedynie w przypadku osadów o zbliżonych zawartościach substancji organicznej.

Osady głęboczków jezior charakteryzują się wysoką zawartością substancji organicznej. Zawartość węgla organicznego w zbadanych próbkach waha się od 4,40% do 30,30%, średnia geometryczna wynosi 17,1%. Wielkość stosunku AOX/TOC w osadach jezior mieściła się w znacznie węższym zakresie 0,10–1,27 mgCl/kgC<sub>org</sub>, a jego



Ryc. 6. Polichlorowane bifenyle i parametr AOX w osadach rzecznych

Fig. 6. Polychlorinated biphenyls and AOX parameter in river sediments

średnia geometryczna wartość — 0,42 mg Cl/g  $C_{org}$  była znacznie niższa niż w osadach rzek. Ze względu, na wysoką zawartość substancji organicznej w osadach jezior i naturalnie wyższą zawartością AOX, dopiero wartość parametru AOX wyższa niż 90–100 mg Cl/kg  $C_{org}$  może wskazywać na zanieczyszczeniu osadów związkami chloroorganicznymi.

Zawartość polichlorowanych bifenyli w zbadanych próbkach osadów rzecznych mieściła się w zakresie 0,69–27,28 ppm i była zbliżona do wykrytych w osadach zbiornika wrocławskiego (Bojakowska i in., 2000). Zawartość PCBs w zbadanych próbkach osadów rzecznych wykazuje korelację z wartością parametru AOX (ryc. 5). W większości zbadanych próbek stosunek PCBs/AOX wynosił 0,1–0,3 mg PCBs/mg Cl, jedynie w próbce osadów z Odry pobranych w Chałupkach wartość ta była o rząd wielkości wyższa. Dlatego też, badania nad oceną zanieczyszczenia osadów związkami PCBs można poprzedzać znacznie tańszymi oznaczeniami parametru AOX, a drogie oznaczenia polichlorowanych bifenyli wykonywać tylko w próbkach osadów charakteryzujących się podwyższoną wartością wskaźnika AOX.

### Wnioski

□ Wielkość parametru AOX w niezanieczyszczonych osadach rzecznych nie przekracza 20 mgCl/kg, w osadach jeziornych zaś bogatych w substancję organiczną, naturalna wielkość tego parametru jest znacznie wyższa i wynosi ok. 70 mgCl/kg.

□ Wartość wskaźnika AOX w osadach rzecznych wyższa niż 50 mgCl/kg może wskazywać na zanieczyszczenie tych osadów związkami chloroorganicznymi antropogenicznego pochodzenia. Ze względu na wysoką zawartość TOC w osadach jezior, na ich zanieczyszczenie tymi związkami może wskazywać dopiero zawartość parametru AOX wyższa niż 90–100 mgCl/kg.

□ W osadach rzecznych charakteryzujących się podwyższoną wartością parametru AOX stwierdzono obecność polichlorowanych bifenyli. Oznaczanie parametru

AOX może być wykorzystane do selekcji próbek, w których należy zbadać zawartość PCBs.

### Literatura

- ASPLUND G. & GRIMVALL A. 1991 — Organohalogenes in nature. *Environ. Sci. Technol.*, 25: 1346–1350.
- BERNACKA J. & PAWŁOWSKA L. 2000 — Substancje potencjalnie toksyczne w osadach z komunalnych oczyszczalni ścieków. IOŚ. Warszawa.
- BOJAKOWSKA I. & BELLOK A. 1998 — Chlorowcoorganiczne związki (AOX) w wodach Neru. *Prz. Geol.*, 46: 1086–1090.
- BOJAKOWSKA I., GLIWICZ T. & SOKOŁOWSKA G. 1998 — Wyniki monitoringu geochemicznego osadów wodnych Polski w latach 1996–1997. Biblioteka Monitoringu Środowiska.
- BOJAKOWSKA I. SOKOŁOWSKA G. & STRZELECKI R. 2000 — Trwałe zanieczyszczenia organiczne — wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, polichlorowane bifenyle i pestycydy chloroorganiczne — w osadach zbiornika wrocławskiego. *Prz. Geol.*, 48: 837–843.
- BRÜGMANN L. 1998 — Hintergrundbelastung von Ostsee-Sedimentationsbecken vor der deutschen Küste. [In:] Schadstoffbelastung der sedimente in den Ostseeküstengewässern. BfG Koblenz-Berlin: 17–80.
- DIN 38414 cz. 18. — Bestimmung von adsorbierten, organisch gebundenen Halogenen (AOX). Schlamm und Sedimente (Gruppe S).
- EISENBERG J., BENNETT D. & MCKONE T. 1998 — Chemical dynamics of persistent organic pollutants: a sensitivity analysis relating soil concentration levels to atmospheric emissions. *Environ. Sci. Technol.*, 32: 115–123.
- FATTORE E., BENFENATI E., MARIANI G. & FANELLI R. 1997 - Patterns and sources of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in sediments from the Venice Lagoon, Italy. *Environ. Sci. & Technol.*, 31: 1777–1784.
- HEININGER P. 1999 — Contaminants in sediments of the River Elbe. International Symposium Sediment Assessment in European River Basins. Berlin.
- HÜTTER L.A. 1994 — Wasser und Wasseruntersuchung, Salle +Sauerlander, Frankfurt a/M: 105–125.
- JUTTNER I., HENKELMANN B., SCHRAMM K., STEINBERG C., WINKLER R. & KETTRUP A., 1997 — Occurrence of PCDD/F in dated lake sediments of the Black Forest, south-western Germany. *Environ. Sci. Technol.*, 31: 806–812.
- KJELLER L. & RAPPE C. 1995 — Time trends in levels, patterns and profiles for polychlorinated dibenzo-p-dioxin, dibenzofurans, and biphenyls in sediment core from the Baltic Proper. *Environ. Sci. Technol.*, 29: 346–355.
- KANNAN K., MARUYA K. & TANABE S., 1997 — Distribution and characterization of polychlorinated biphenyl congeners i soil and sediments from a superfund site contaminated with Aroclor 1268. *Environ. Sci. Technol.*, 31: 1483–1488.
- MÜLLER A. & SCHILLING P. 1998 — Sedimentbelastung und Stoffhaushalt im Nördlichen Peenestrom. [In:] Schadstoffbelastung der sedimente in den Ostseeküstengewässern. BfG Koblenz-Berlin: 97–121.
- OFFENBERG J. & BAKER J. 1997 — Polychlorinated biphenyls in Chicago precipitation: enhanced wet deposition in near-shore lake Michigan. *Environ. Sci. Technol.*, 31: 1534–1538.
- RAMAMOORTHY S. & RAMAMOORTHY S. 1997 — Chlorinated organic compounds in the Environment. Lewis Publishers: 370.
- SCHMELLING D., POSTER D., CHAYCHIAN M., NETA P., SILVERMAN J. & AL-SHEIKHLY M. 1998 — Degradation of polychlorinated biphenyls induced by ionizing radiation in aqueous micellar solutions. *Environ. Sci. Technol.*, 32: 270–275.
- YAMASHITA N., KANNAN K., IMAGAWA T., VILLENEUVE D., HASHIMOTO S., MIYAZAKI A. & GIESY J. 2000 — Vertical profile of polychlorinated dibenzofurans, dibenzofurans, naphthalenes, biphenyls, polycyclic aromatic hydrocarbons, and alkylphenols in sediment core from Tokyo Bay, Japan. *Environ. Sci. Technol.*, 34: 3560–3567.
- ZHOU H., CHEUNG R. & WONG M. 1999 — Residues of organochlorines in sediments and tilapia collected from inland water systems of Hong Kong. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 36: 424.