

**ZESZYTY NAUKOWE NR 1(73)  
AKADEMII MORSKIEJ  
W SZCZECINIE**

---

**EXPLO-SHIP 2004**

---

Józef Kirkiewicz, Bohdan Bieg, Ryszard Pikuła, Marcin Krogulec  
Janusz Chrzanowski, Anna Krasnodębska

**Spektralne metody badania zanieczyszczeń wody  
produktami ropopochodnymi na powierzchni  
oraz na różnych głębokościach rzeki Odry**

Słowa kluczowe: spektroskopia w podczerwieni, degradacja środowiska

*Wskazano na postępujący proces degradacji środowiska naturalnego Morza Bałtyckiego i rzeki Odry, wynikający z przedostających się do akwenów produktów ropopochodnych. Wskazano na obszar objęty pomiarami oraz metodykę prowadzenia badań. Na podstawie wieloletnich pomiarów podano uśrednione wyniki zaolejenia na powierzchni wód estuarium Odry. Przeprowadzono sondażowe badania rozkładu pionowego zanieczyszczeń olejowych wody w wybranych punktach estuarium Odry.*

**Spectroscopic Investigation of Oil Pollution on the Surface  
and at Various Depths of the Odra River**

Key words: infrared spectroscopy, environmental degradation

*The process of progressive degradation of natural environment of the Baltic Sea and the Odra River caused by oil products has been presented. The authors describe the examined area and measurement techniques. The mean values of oil contamination of the Odra River superficial layer have been calculated on the basis of measurements carried out for many years. Besides, the distribution of the oil pollution of water in the perpendicular cross-section at selected points of the Odra River has been presented.*

## Wprowadzenie

Przez stulecia wszelkie zanieczyszczenia powstające w otoczeniu człowieka były odprowadzane do pobliskich zbiorników wodnych lub do strumieni i rzek, którymi zanieczyszczone wody spływały do morza. Do niedawna wyobrażano sobie, że morza są ogromne i bez uszczerbku dla siebie mogą przyjąć każdą ilość zanieczyszczeń.

W drugiej połowie XX wieku doszło do tego, że zapotrzebowanie na różne surowce w przemyśle i gospodarce a szczególnie na paliwa płynne, doprowadziło do wycieków produktów ropopochodnych, zwłaszcza w transporcie morskim. Produkty te w postaci paliw i smarów są używane w przemyśle, motoryzacji, gospodarce komunalnej, jak również w gospodarce morskiej. Komisja Helsińska [4] oblicza, że rocznie do Morza Bałtyckiego przedostaje się około 60 000 ton produktów ropopochodnych pochodzących z eksploatacji floty oraz awarii występujących w tej gałęzi gospodarki, jak również niesionych przez zanieczyszczone wody rzek z obszarów zlewni Bałtyku.

Obecność produktów ropopochodnych rejestruje się zarówno na powierzchni wody, jak i w osadach dennych. Zanieczyszczenia powierzchniowe ograniczają przenikanie w głąb toni wodnej promieniowania słonecznego, co zmienia rozkłady termiczne oraz procesy fotosyntezy. Znajdujące się na powierzchni wody plamy produktów ropopochodnych są zagrożeniem dla ptactwa wodnego oraz osiadając na plażach prowadzą do ich okresowego eliminowania z eksploatacji. Znajdująca się na różnych głębokościach, nawet niewielka ilość substancji ropopochodnych oddziałuje szkodliwie na rybostan oraz roślinność podwodną.

W świetle badań [3] przyjmuje się, że źródłem największych zagrożeń dla środowiska morskiego są:

- |  |      |
|--|------|
| – wycieki w trakcie bieżącej eksploatacji floty          | 44%, |
| – działania operacyjne wież wiertniczych i zbiornikowców | 22%, |
| – zanieczyszczenia spływające rzekami z głębi lądów      | 22%, |
| – wypadki zbiornikowców                                  | 12%. |

Chociaż wypadki zbiornikowców są bardzo spektakularne i mocno nagłaśniane, a ich jednostkowy wpływ sięga często setek tysięcy ton [3], to jak łatwo zauważyć prawie dwukrotnie większe zagrożenie stanowią zanieczyszczenia spływające ciekami wodnymi z głębi lądu.

W celu ochrony środowiska morskiego i ograniczenia jego degradacji już w roku 1954 wprowadzono Międzynarodową konwencję o zapobieganiu zanieczyszczeń morza a w roku 1969 Konwencję o odpowiedzialności cywilnej za

szkody wynikające z zanieczyszczenia morza olejami. Konwencje te są nowelizowane i ostatnia MARPOL 73/78 obowiązuje do dziś [2].

W świetle przepisów konwencji nie wystarczy obserwować występujących na powierzchni wody plam olejowych oraz osadów na plażach i skałach nadbrzeżnych, ale konieczne staje się badanie ilościowe tych zanieczyszczeń. Wśród licznych metod badawczych i pomiarowych szczególną przydatność posiadają metody spektralne, a wśród nich spektroskopia w podczerwieni.

Spektroskopia w podczerwieni w zależności od przejść między różnymi poziomami energetycznymi w atomach dzieli się na kilka zakresów. Do badań zanieczyszczeń wody olejami najbardziej przydatny jest zakres średniej podczerwieni (MIR), obejmujący obszar  $400 - 300 \text{ cm}^{-1}$ . W tym zakresie są zgrupowane pasma charakteryzujące rodzaj drgania, konformacje oscylującego układu atomów oraz liczby tych układów. Widmo molekuly jest traktowane często jako „odcisk palca” molekuly (fingerprint).

## 1. Analiza widma w podczerwieni

Rezultatem pomiarów w podczerwieni jest zbiór pasm nazywanych widmem i związanych z drganiami normalnymi molekuly. Widmo może być przedstawione jako funkcja transmitancji  $T$  lub absorbancji  $A$  w zależności od liczby falowej  $k$  lub częstotliwości  $\nu$ .

Każde pasmo w widmie charakteryzują trzy parametry:

- częstość w maksimum  $\nu$ ,
- intensywność w maksimum,  $I_{\text{max}}$ , lub integralna intensywność:

$$I_{\infty} = \int_{-\infty}^{\infty} I(\nu) d\nu \quad (1)$$

- szerokość połówkowa  $\Delta\nu_{1/2}$ .

Częstość maksimum pasma w widmie informuje nas o rodzaju drgania względem współrzędnej normalnej. Zmiany częstości oscylacji pod wpływem czynników zewnętrznych dostarczają istotnych danych o zmianach strukturalnych i oddziaływaniach badanych molekuł. Jednak dokładne położenia pasm w widmie mogą zostać wyznaczone jedynie na podstawie widma substancji o znanych częstościach, które służą do cechowania skali.

Intensywność pasma jest parametrem, w którym są zawarte informacje o stężeniu badanej substancji. Intensywność integralna  $I_{\infty}$  jest wprost proporcjonalna do liczby drgających grup odpowiedzialnych za pojawienie się danego pasma i jest używana m.in. do określenia molowej intensywności o dużej dokładności oraz stężenia poszczególnych składników mieszaniny.

Molową intensywność integralną pasma oblicza się z prawa Lamberta-Beera, które ma postać:

$$I = I_0 e^{-\varepsilon(\nu)lc} \quad (2)$$

gdzie:

- $I_0$  – natężenie promieniowania padającego na próbkę,
- $I$  – natężenie promieniowania po przejściu przez próbkę,
- $\varepsilon(\nu)$  – współczynnik absorpcji przy danej częstotliwości promieniowania,
- $l$  – długość drogi promienia w próbce,
- $c$  – stężenie substancji absorbującej.

Stosunek  $\frac{I}{I_0}$  nazywamy transmitancją (przepuszczalnością) i oznaczamy literą  $T$ .

Wzór (2) po zlogarytmowaniu można przedstawić następująco:

$$2,303 \log\left(\frac{I}{I_0}\right) = \varepsilon(\nu)lc \quad (3)$$

Molowa integralna intensywność pasma jest zdefiniowana wzorem:

$$A = \int_{-\infty}^{\infty} \varepsilon(\nu) d\nu \quad (4)$$

co w połączeniu ze wzorem (3) i po uwzględnieniu transmitancji tła  $T_t$ , daje wyrażenie:

$$A = \frac{2,303}{lc} \int_{-\infty}^{\infty} \log\left(\frac{T_t}{T}\right) d\nu \quad (5)$$

Jak wynika z powyższego wzoru, po zarejestrowaniu widma w skali transmitancji należy je zlogarytmować. Jest to operacja trudna i czasochłonna. Dlatego obecnie produkowane spektrofotometry rejestrują od razu widmo w skali logarytmicznej, mierząc tzw. absorbancję  $A$ , która wiąże się z transmitancją  $T$  wzorem:

$$A = \log\left(\frac{I_0}{I(\nu)}\right) \quad (6)$$

W praktyce całkowanie konturu pasma przeprowadza się w granicach od  $\nu_1$  do  $\nu_2$  zamiast teoretycznego całkowania od  $-\infty$  do  $+\infty$ . Intensywność pasma mierzona w maksimum  $I_{\max}$  jest kolejnym wyrażeniem intensywności i bywa

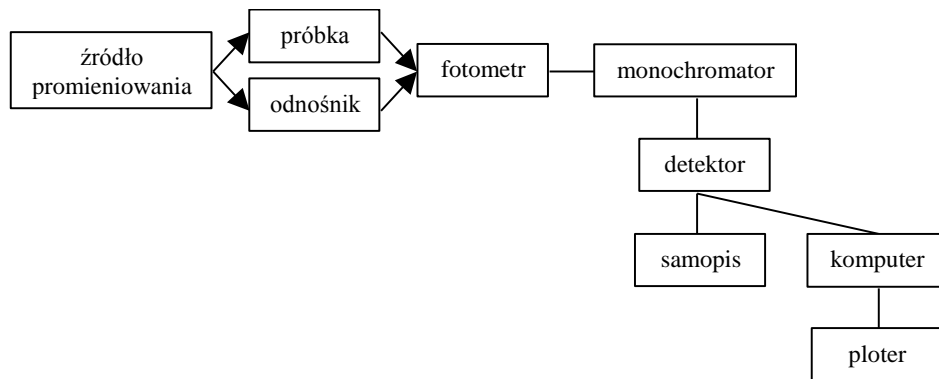
podana w procentach (najsilniejszym pasmom przypisuje się wartość 100%) lub w innych skalach umownych. Jest przedstawiana również jako molowa intensywność pasma w maksimum, która jest równa współczynnikowi absorpcji w maksimum  $\varepsilon_0$ , zgodnie ze wzorem:

$$\varepsilon_0 = \frac{2,303}{lc} \log \left( \frac{T_t}{T(\nu)} \right) \quad (7)$$

Szerokość połówkowa, zwana też półszerokością  $\Delta\nu_{1/2}$ , jest to szerokość konturu mierzona w połowie jego wysokości.

## 2. Aparatura pomiarowa

Widma absorpcyjne w podczerwieni są rejestrowane na spektrofotometrach. Najczęściej są wykorzystywane spektrofotometry dwuwiązkowe. Schemat blokowy spektrofotometru dwuwiązkowego ilustruje rysunek 1.



Rys. 1. Schemat blokowy spektrofotometru dwuwiązkowego  
Fig. 1. A block diagram of two-beam spectrophotometer

W powyższym rozwiązaniu operujemy dwiema jednakowymi wiązkami promieniowania, z których jedna przechodzi przez układ nieabsorbujący – odnośnik – i daje wartość  $I_0$ , a druga przechodzi przez układ absorbujący – próbka – i daje wartość  $I$ . Absorpcja jest opisana prawem Lamberta-Beera (2).

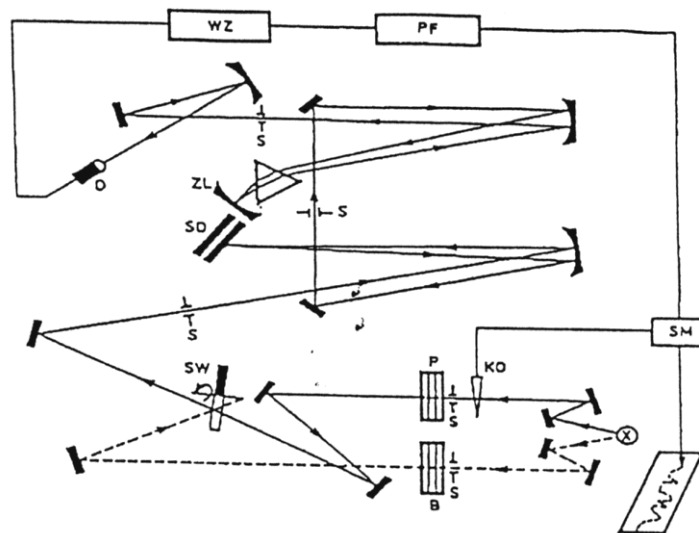
Stosowana aparatura pozwala rejestrować stosunek intensywności promieniowania wychodzącego do intensywności promieniowania padającego  $I_0$ .

Praktycznie, pierwsza z wiązek, nazywana wiązką porównawczą, jest kierowana na kufkę zawierającą czysty rozpuszczalnik, przy badaniu absorbujących składników roztworu, lub na płytkę materiału okienek kufki badawczej.

Druga wiązka przechodzi przez kuwetę z badaną substancją i nazywa się wiązką badawczą. Obie wiązki są porównywane następnie w fotometrze. Po przejściu przez fotometr wiązka promieniowania pada na monochromator, gdzie jest analizowana w celu zróżnicowania spektralnego przez rozszczepienie promieniowania. W wyniku rozszczepienia w każdym momencie jedynie wąski zakres promieniowania jest przepuszczany do detektora. W detektorze impuls optyczny jest zamieniany w impuls elektryczny, który jest odpowiednio wzmacniany.

Obecnie produkowane spektrofotometry są przystosowane do pracy z komputerem, co umożliwia szybkie i dokładne przetwarzanie danych oraz dokładną obróbkę widma. Aktualnie stosuje się głównie dwa sposoby współpracy spektrofotometru z komputerem:

- system „*off line*”, w którym dane podawane ze spektrofotometru są magazynowane w pamięci komputera i w każdej chwili mogą być użyte;
- system „*on line*”, w którym spektrofotometr jest sprzężony z komputerem za pomocą łącza (interface). Mamy wtedy dwustronną komunikację pomiędzy spektrofotometrem i komputerem, tzn. komputer może sterować zbieraniem danych i całą pracą spektrofotometru.



Rys. 2. Schemat dwuwiązkowego spektrofotometru do badań w podczerwieni: ⊗ – źródło promieniowania, KO – klin optyczny, P – kuweta porównawcza, B – kuweta badawcza, S – szczeliny, SW – sektor wirujący, SD – siatka dyfrakcyjna, ZL – zwierciadło Littrowa, D – detektor, WZ – wzmacniacz, PF – prostownik fazoczuły, SM – serwomotor poruszający jednocześnie klin optyczny i piórko samopisu

Fig. 2. A diagram of two-beam infrared spectrophotometer

Obecnie produkowane spektrofotometry dyspersyjne są wyposażone w systemy fotometryczne dwuwiązkowe z zerem optycznym, które w sposób automatyczny reguluje natężenie wiązki porównawczej w stosunku do badawczej przez tzw. klin optyczny. Dzięki temu uzyskane widmo nie jest praktycznie zależne od fluktuacji natężenia promieniowania źródła, szumów wzmacniacza, czy absorpcji atmosfery, co stwarzało wiele problemów przy pracy z systemami jednowiązkowymi.

Z klinem optycznym sprzężony jest rejestrator, którego piórko, poruszając się jednocześnie z klinem, rysuje na przesuwanym się papierze stosunek  $I/I_0$ , czyli przepuszczalność. W czasie obrotu siatki dyfrakcyjnej przez szczelinę wyjściową przechodzi kolejno promieniowanie o różnych częstościach i dzięki sprzężonemu z siatką dyfrakcyjną przesuwowi papieru rejestratora, piórko kreśli kontur widma w postaci funkcji  $T = (v)$ . Nazywamy to przemiataniem widma.

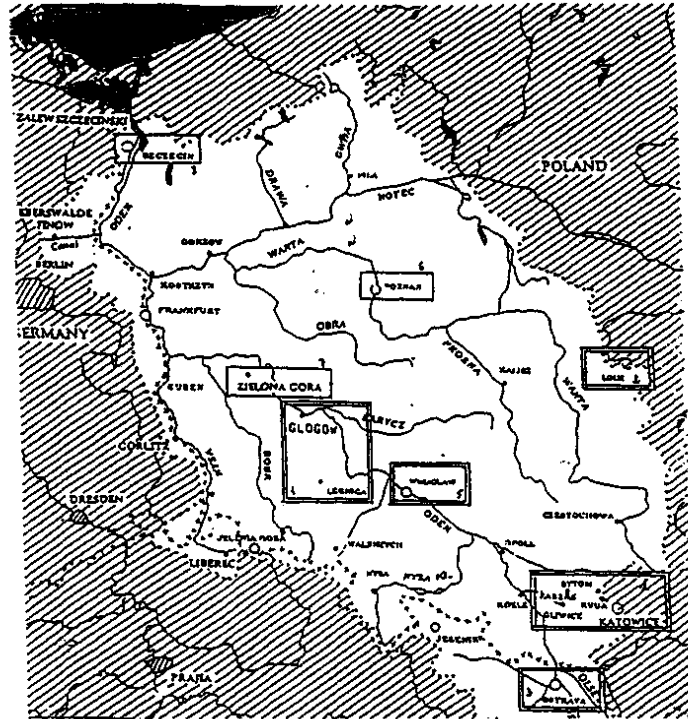
Na rysunku 2 umieszczono schemat optyczny spektrofotometru dwuwiązkowego.

### **3. Badanie stanu zaolejenia wody ujścia Odry**

Jednym z obszarów lądowych dostarczających różnego rodzaju zanieczyszczeń do wód Bałtyku jest zlewnia rzeki Odry (rys. 3). Na obszarze tym są rozmieszczone duże aglomeracje, na terenie których znajduje się znaczna liczba zakładów przemysłowych stanowiących potencjalne zagrożenie ekologiczne. Wiele miast nie posiada sprawnie działających oczyszczalni ścieków, a niektóre w ogóle ich nie posiadają, w związku z tym zanieczyszczenia spływają z dorzecza Odry do Bałtyku. Badania tych zanieczyszczeń są prowadzone przez różne placówki naukowe i branżowe od wielu lat [1].

Od roku 1987 w Zakładzie Fizyki Wyższej Szkoły Morskiej w Szczecinie były prowadzone systematyczne badania zaolejenia wody rzeki Odry. Były one związane głównie z procesami technologicznymi znajdujących się w okolicy Szczecina i eksploatujących wody Odry dwóch elektrowni: Dolna Odra i Pomorzany.

Do celów technologicznych elektrownie ciepłne zużywają ogromne ilości wody. Elektrownia Dolna Odra średnio pobiera około  $60 \text{ m}^3$  wody w ciągu sekundy. Ponieważ korytem Odry Wschodniej (Regalicy) przepływ wynosi ok.  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ , to istnieje możliwość równoczesnego badania zanieczyszczeń olejowych wody dopływającej Odrą, jak i wody odpływającej po procesach technologicznych. Identyczna możliwość istnieje przy pomiarach w Elektrowni Pomorzany, gdzie korytem Odry Zachodniej przepływa średnio ok.  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ , natomiast na potrzeby elektrowni oraz ujęcia wodociągów miejskich pobiera się ok.  $15 \text{ m}^3/\text{s}$ . Pobierane z tych ujęć próbki są więc reprezentatywne dla przepływów wody rzekami Odry Wschodniej i Zachodniej.



Rys. 3. Zlewnia rzeki Odry  
Fig. 3. The River Odra estuary

Próbki wody do badań zaolejenia dla Elektrowni Dolna Odra i Pomorzany pobierano z miejsc uzgodnionych z Działem Ochrony Środowiska tych elektrowni, który wyraźnie sugerował, aby wykonać pomiary:

- 1) dla Elektrowni Dolna Odra:
  - a) zaolejenia wody chłodzącej dopływającej do Elektrowni (na tzw. kanale zimnym),
  - b) zaolejenia wody zrzutowej (na tzw. kanale ciepłym),
  - c) zaolejenia wody w kanale gospodarczym, zbierającym wody zrzutowe ze wszystkich pozostałych odpływów z terenu zakładu;
- 2) dla Elektrowni Pomorzany:
  - a) zaolejenia wody chłodzącej dopływającej do Elektrowni (na tzw. kanale zimnym),
  - b) zaolejenia wody zrzutowej (na tzw. kanale ciepłym),
  - c) zaolejenia wody zrzutowej (na tzw. kanale ciepłym za zaporą).

Próbki pobierano zgodnie z zaleceniami Konwencji IMCO (Method for Determination of oil Content-MEPC YI-17 Annex II) oraz wymagań PRS.



Celem wyeliminowania błędów przypadkowych oraz uzyskania uśrednionego wyniku, w każdym punkcie pomiarowym do analizy pobierano trzy próbki. Łącznie w danym dniu pobierano dziewięć próbek w trzech punktach pomiarowych.

#### **4. Metodyka pomiarów**

W świetle dotychczasowych badań wiadomo, że woda posiada w zakresie podczerwieni, a szczególnie w przedziale  $2850\text{--}3100\text{ cm}^{-1}$ , bardzo silne pasma pochłaniania. Równocześnie wiadomo, że dla węglowodorów występują maksima pochłaniania dla częstości:  $2860$ ,  $2930$  oraz  $2965\text{ cm}^{-1}$ . Dlatego, bezpośredni pomiar pasm absorpcji w podczerwieni dla wody zaolejonej nie daje oczekiwanych rezultatów. Aby pomiar zaolejenia można było przeprowadzić, opracowano metody postępowania, zgodnie z którymi należy wyekstrahować zawarte w wodzie węglowodory przez wstrząsanie próbki o objętości  $1000\text{ ml}$  zmieszanej z porcją  $100\text{ ml}$   $\text{CCl}_4$ . Otrzymany ekstrakt należy osuszyć ze śladowych zawartości wody bezwodnym siarczanem sodu –  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Przygotowane próbki poddaje się badaniom na dwuwiązkowym spektrofotometrze, w naszym przypadku typu UR-20 firmy Carl-Zeiss Jena. Spektrofotometr ten posiada atest Polskiego Rejestru Statków nr 141/710001/TMT/87 z dnia 25 maja 1987 roku.

Do pomiarów używano pryzmaty rozszczepiające z  $\text{NaCl}$  oraz  $\text{LiF}$ , stosując kuwety z  $\text{NaCl}$  lub kwarcowe o grubościach warstw  $0,61\text{ mm}$  oraz  $5$  i  $10\text{ mm}$ . Przy pomiarach zaolejenia korzystano z wzorcowych krzywych kalibracji, na podstawie których można wyznaczyć stężenie oleju w próbkach wodnych.

Stężenie oleju określa się przez porównanie absorpcji promieni podczerwonych ekstraktu próbki ze znanym stężeniem wzorcowym.

#### **5. Wyniki pomiarów zaolejenia powierzchniowego wody**

Zapoczątkowane w 1987 roku badania nie były systematyczne i obejmowały badanie kilkudziesięciu próbek. Dopiero w roku 1988 dopracowano metodykę oraz zakres pomiarowy zaolejenia wód technologicznych Elektrowni Dolna Odra, która czerpała wody z Odry Wschodniej (Regalicy).

W roku 1989 badaniami objęto wody technologiczne Elektrowni Pomorzany, korzystającej z ujęć Odry Zachodniej. W ten sposób oba koryta ujścia Odry zostały poddane badaniom na zanieczyszczenia olejowe. Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli I i można je traktować jako wiarygodne ze względu na liczbę pobranych próbek – łącznie w latach 1988 – 2000 pobrano ok.  $20\ 000$  próbek do badań.

Tabela 1

Średnie zaoilejenie wody chłodzącej [ppm]  
*The average oil contamination of cooling water [ppm]*

Lp.	Rok	Elektrownia Dolna Odra			Elektrownia Pomorzany		
		kanal zimny	kanal ciepły	kanal gospodarczy	kanal zimny	kanal ciepły	kanal ciepły za zaporą
1	1988	0,26	0,29	1,39	—	—	—
2	1989	0,58	1,34	1,83	0,70	1,43	1,39
3	1990	0,61	1,67	2,09	0,72	1,24	1,10
4	1991	0,68	1,01	1,27	0,95	1,03	0,98
5	1992	0,41	0,96	1,12	0,82	1,06	1,02
6	1993	0,39	0,89	1,07	0,76	1,04	0,93
7	1994	0,32	0,79	1,02	0,72	1,02	0,91
8	1995	0,29	0,75	0,89	0,69	0,98	0,89
9	1996	0,46	0,58	1,08	0,63	0,88	0,82
10	1997	0,96	1,09	1,23	1,30	1,48	1,42
11	1998	1,40	1,47	1,49	1,04	1,17	1,08
12	1999	1,39	1,53	1,47	1,29	1,45	1,31
13	2000	0,88	0,96	0,93	0,96	1,12	0,96

## 6. Badanie rozkładu pionowego zanieczyszczeń olejowych wody

Pomiary zaoilejenia wody pobieranej na powierzchni badanych akwenów w świetle wiedzy o rozkładzie zanieczyszczeń nie dają możliwości określenia ilości produktów ropopochodnych niesionych w strumieniu cieku. Poszukiwanie odpowiedzi na pytanie – jak wielkie ilości zanieczyszczeń olejowych znajdują się na określonych głębokościach – spowodowało próbę przeprowadzenia pomiarów opartych na określonej metodyce.

Miejsca poboru próbek były takie same, jak przy badaniach powierzchniowych w kanałach zimnych. Dla miejsc tych pobory próbek realizowano na następujących głębokościach:

- warstwa przypowierzchniowa 0 – 0,05 m,
- warstwa na głębokości około 1 m,
- warstwa na głębokości około 2 m.

Przyjęte przybliżone wartości głębokości wynikają z tego, że używanym do poboru próbek *batometrem* była zawieszona na linie butelka z obciążonym dnem. Na skutek ruchu wody, nie istnieje możliwość precyzyjnego określenia

jej zanurzenia. Zasada działania batometru wskazuje, że w trakcie zanurzania pojemnik jest zamknięty, a jego napełnianie odbywa się na żądanej głębokości. Pobrane w ten sposób próbki poddawano badaniom spektrofotometrycznym, a uśrednione wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Średnia zawartość produktów ropopochodnych w wybranych punktach rzeki Odry  
*The average concentration of petroleum products in selected points of the Odra River*

Miejsce poboru próbki	Głębokość warstwy [m]	Wartość zaolejenia [ppm]		
		maj 2000 r.	sierpień 2000 r.	listopad 2000 r.
Kanał zimny Elektrowni Dolna Odra	0 – 0,05	0,88	0,76	0,94
	1	0,09	0,07	0,12
	2	0,06	0,05	0,07
Kanał zimny Elektrowni Pomorzany	0 – 0,05	0,96	0,82	1,10
	1	0,09	0,08	0,10
	2	0,07	0,06	0,08

## Wnioski

Na podstawie zebranych w trakcie badań wyników pomiarów można stwierdzić, że stan zaolejenia wody spływającej z górnych obszarów rzeki Odry (kanały zimne) zmienia się w czasie i jest niewielki w odniesieniu do obowiązujących norm (15 ppm). Przyrost zaolejenia (kanały ciepłe) na terenie badanym jest znikomy i nie wnosi zagrożenia w ochronie środowiska w całym okresie badawczym.

Należy zwrócić uwagę na lata 1988 – 1990, czyli początek współpracy z Zespołem Elektrowni Dolna Odra. W okresie tym rejestrowano przyrosty zaolejenia wód technologicznych rzędu 1 ppm. Intensywne prace Zespołu Ochrony

Środowiska Elektrowni doprowadziły do znacznego obniżenia przyrostu zaolejenia.

Wyjątek stanowią wyniki badań z lat 1997 – 2000, gdy nastąpił wzrost zaolejenia wody dopływającej z biegiem rzeki Odry jako skutek powodzi w roku 1997. W trakcie tej powodzi na brzegach rzeki Odry i jej dopływów utworzyły się złogi olejowe, wymywane przez wezbrane wody w okresach wiosenno-jesiennych. Należy podkreślić, że nawet w okresach po powodzi przyrosty zaolejenia w wodach technologicznych na terenie obu elektrowni były nieznaczne, co świadczy o opanowaniu problemu zaolejenia przez służby odpowiedzialne za ochronę środowiska.

Pomiary zaolejenia wody na różnych głębokościach wybranych punktów rzeki Odry wskazują, że ogromna większość produktów ropopochodnych znajduje się w warstwie przypowierzchniowej. Spadek wartości zaolejenia na głębokości 1 m jest duży a na 2 m jeszcze większy (tabela 2). Z pomiarów wynika, że w miesiącach, w których temperatury otoczenia są wyższe mierzona wartość zaolejenia jest mniejsza, natomiast w listopadzie przy temperaturach bliskich 0°C zawartości zanieczyszczeń olejowych rosną zarówno na powierzchni, jak i na badanych głębokościach. Taki rozkład zanieczyszczeń olejowych wynika z faktu odparowywania lekkich frakcji przy wyższych temperaturach oraz skłonność do koagulacji i opadania konglomeratów w głąb toni przy temperaturach niższych.

## Literatura

1. Kirkiewicz J., *Zmiany stanu zaolejenia wody w dolnym biegu oraz przy ujściu Odry*, Budownictwo Okrętowe i Gospodarka Morska nr 3 (464), Gdańsk 1998, s. 18 – 20.
2. Międzynarodowa Organizacja Morska (IMO) – Międzynarodowa konwencja o zapobieganiu zanieczyszczeniu morza przez statki, MARPOL 73/78, PRS, Gdańsk 1997.
3. Wiewióra A., Wesołek Z., Puchalski J., *Ropa naftowa w transporcie morskim*, Wydawnictwo Trademar, Gdynia 1999, s. 269.
4. Wirdham A., *Co się dzieje z Morzem Bałtyckim*, Szwedzkie Towarzystwo Ochrony Przyrody, Sztokholm 1990.

*Wpłynęło do redakcji w lutym 2004 r.*

## Recenzenci

prof. dr hab. Henryk Gurgul  
prof. dr hab. Yury Kravtsov

## Adresy Autorów

doc. dr Józef Kirkiewicz  
dr Bohdan Bieg  
dr inż. kpt. ż.w. Ryszard Piłkuła  
mgr Marcin Krogulec  
dr Janusz Chrzanowski  
Anna Krasnodębska  
Akademia Morska w Szczecinie  
Instytut Matematyki, Fizyki i Chemii  
ul. Wały Chrobrego 1/2, 70-500 Szczecin