

**Jacek Fabisiak**  
**Akademia Marynarki Wojennej**

## **ZAGROŻENIA EKOLOGICZNE BAŁTYKU ZWIĄZANE Z ZANIECZYSZCZENIAMI CHEMICZNYMI — WĘGLOWODORY**

### **STRESZCZENIE**

Morze Bałtyckie ze względu na specyficzną budowę charakteryzuje się wyjątkową wrażliwością na zanieczyszczenia, głównie zanieczyszczenia chemiczne. Z tego między innymi powodu w świetle zapisów konwencji MARPOL 1972/78 Bałtyk uznany został za akwen specjalny, na którym obowiązują zaostrzone przepisy związane z jego użytkowaniem. Podstawowym celem tej decyzji było ograniczenie ładunków zanieczyszczeń wprowadzanych do morza z jednostek pływających. W artykule dokonano analizy zagrożeń wynikających z obecności węglowodorów ropopochodnych w morzu, a generowanych głównie przez jednostki pływające. Artykuł ten jest pierwszym z cyklu poświęconego zagrożeniom ekologicznym Bałtyku związanym z zanieczyszczeniami chemicznymi.

#### Słowa kluczowe:

Morze Bałtyckie, transport morski, węglowodory ropopochodne.

### **WSTĘP**

Morze Bałtyckie cechuje szczególna wrażliwość na zanieczyszczenia. Jest to akwen stosunkowo płytki (morze szelfowe o średniej głębokości 56 m), o ograniczonej wymianie wód z sąsiadującym Morzem Północnym, wskutek czego jest zbiornikiem o stosunkowo małej pojemności chłonnej. Obieg wód następuje wyłącznie poprzez wąskie cieśniny duńskie, przez co całkowita wymiana słonawych wód bałtyckich na dobrze natlenione, o wysokim zasoleniu wody oceaniczne trwa około 25–35 lat [12]. Powoduje to, iż wszystkie obce substancje wnoszone do Morza Bałtyckiego pozostają w nim przez wiele lat, stwarzając ogromne zagrożenie ekologiczne dla tego akwenu.

Przez zanieczyszczenie morza rozumie się „wprowadzenie przez człowieka pośrednio lub bezpośrednio do środowiska morskiego (włącznie z estuariami) substancji lub energii, w wyniku czego powstają szkodliwe skutki, takie jak szkody dla żywych zasobów morza, zagrożenie zdrowia ludzkiego, przeszkody w korzystaniu z morza, z rybołówstwem włącznie, obniżenie jakości wody i zmniejszenie uroków morza” [7]. Definicja ta sformułowana przez międzynarodową grupę ekspertów GESAMP<sup>1</sup> stanowi obecnie podstawę aktów legislacyjnych wielu państw.

Przyjmuje się, że środowisko morskie zanieczyszczane jest w 40% przez statki w wyniku ich normalnej eksploatacji, 42% zanieczyszczeń pochodzi z gospodarki na lądzie (przemysłowej i komunalnej), 8% z urządzeń wiertniczych i szybów wydobywczych, a pozostałe 10% z awarii zbiornikowców [12]. Do głównych źródeł zanieczyszczeń chemicznych mórz należą:

- przemysł: głównie odprowadzanie ścieków bezpośrednio do morza lub pośrednio poprzez rzeki bądź atmosferę (emisja dymów, spalin, pyłów i gazów);
- gospodarka komunalna: odprowadzanie ścieków bezpośrednio do morza lub pośrednio poprzez rzeki;
- rolnictwo, ogrodnictwo, leśnictwo, działalność sanitarna: szczególnie używanie pestycydów i innych związków chemicznych, które przedostają się do morza spływem bezpośrednim lub pośrednio poprzez wody śródlądowe oraz atmosferę;
- rozmyślne zatapianie zanieczyszczeń;
- żegluga: usuwanie do morza, w związku z normalną eksploatacją statków, substancji zanieczyszczających (oleje, odpady bytowe), przypadkowe przedostanie się ze statku substancji zanieczyszczających (katastrofy ekologiczne, wypadki, awarie);
- badania i eksploatacja zasobów mineralnych dna morskiego: przedostawanie się do morza substancji zanieczyszczających związane z normalnymi czynnościami eksploatacyjnymi oraz przypadkowe przedostanie się do morza substancji zanieczyszczających;
- czynności przeładunkowe w portach: przedostawanie się do morza substancji zanieczyszczających związane z normalnymi czynnościami przeładunkowymi;
- eksploatacja rurociągów podmorskich: przypadkowe przedostanie się do morza substancji zanieczyszczających;
- bagrowanie: wytwarzanie substancji osadowych w toku normalnych czynności eksploatacyjnych;

---

<sup>1</sup> Joint Group of Experts on the Scientific Aspects on Marine Pollution.

- lotnictwo (łącznie z odpalaniem rakiet): wytwarzanie spalin związanych z normalną eksploatacją, które poprzez atmosferę dostają się do środowiska morskiego;
- motoryzacja: wytwarzanie spalin związanych z normalną eksploatacją, które na skutek wymiany z atmosferą przedostają się do morza.

Przedstawione powyżej źródła zanieczyszczeń chemicznych mórz wskazują na ogromną ilość substancji przenikających do środowiska morskiego. Każda z nich wywiera istotny i charakterystyczny dla siebie wpływ na funkcjonowanie tego ekosystemu. Istotnym krokiem w celu ograniczenia zanieczyszczenia środowiska Morza Bałtyckiego było podpisanie w 1974 roku przez wszystkie kraje Morza Bałtyckiego, a w 1992 roku również przez nowo powstałe kraje nadbałtyckie i Unię Europejską, konwencji o ochronie środowiska morskiego obszaru Morza Bałtyckiego, znanej jako konwencja helsińska. Jest ona pierwszą międzynarodową umową biorącą pod uwagę wszystkie aspekty ochrony środowiska morskiego, a jej celem jest ochrona środowiska morskiego Bałtyku poprzez zapobieganie zanieczyszczeniom pochodzącym ze statków, lądu i atmosfery oraz będących rezultatem eksploatacji dna morskiego. Konwencja ta zaczęła obowiązywać wszystkie kraje bałtyckie od maja 1980 roku, a nadzór merytoryczny nad realizacją jej postanowień spełnia Komisja Helsińska (HELCOM). Jednym spośród wielu zadań tej komisji jest szacowanie stanu środowiska morskiego Bałtyku, a najwyższy priorytet nadano pracom mającym na celu ocenę ładunków oraz zagrożeń związanych z wprowadzaniem do morza substancji niebezpiecznych, przede wszystkim:

- związków halogenopodobnych, głównie DDT i jego metabolitów (2,2-di-(p-chlorofenylo)-1,1,1-trichloroetan), PCB (polichlorowane bifenylo) oraz PCT (polichlorowane terfenyle);
- związków metali ciężkich, przede wszystkim: rtęci, kadmu, ołowiu, miedzi i cynku;
- węglowodorów, głównie ropopochodnych;
- związków określanych jako „new contaminants”, na przykład PBB (polieromowane bifenylo), PBDE (polibromowane difenyloetery), PCDD (polichlorowane dibenzo-p-dioksyny) i inne (HELCOM, 1987).

W niniejszym artykule przedstawiono ładunki związków ropopochodnych wprowadzane do Morza Bałtyckiego oraz wynikające z tego zagrożenia dla środowiska morskiego.

## WĘGLOWODORY W ŚRODOWISKU MORSKIM

Węglowodory w środowisku morskim są pochodzenia zarówno naturalnego, jak i antropogenicznego. Syntezowane przez algi, glony, okrzemki, sinice i bakterie zaliczane są do węglowodorów biogenych. Pochodzące z niecałkowitego spalania paliw karbonowych stanowią tzw. węglowodory pirogenne, natomiast powstające w procesach diagenety materii organicznej w osadach dennych zwane są diagenetycznymi. Największe zagrożenie, zarówno bezpośrednie, jak i pośrednie, stanowią węglowodory ropopochodne określane mianem petrogennych, pochodzące z ropy naftowej i produktów jej destylacji (benzyna, nafta, olej opałowy, paliwo, oleje napędowe, oleje smarowe itp.). Do środowiska morskiego trafiają one z eksploatacji złóż na dnach morskich, awarii tankowców, zrzutów wód zęzowych i balastowych, ścieków komunalnych i przemysłowych.

Ropa naftowa nie jest pojedynczym związkiem chemicznym, lecz mieszaniną wielu związków, które decydują o zachowaniu się jej w środowisku morskim i oddziaływaniu na elementy tworzące to środowisko. Skład ropy naftowej zależy od warunków jej powstawania, głównie czasu i miejsca, w którym się wytworzyła. Zasadniczo rodzaje związków występujących w ropie są identyczne, bez względu na miejsce jej wydobycia, jednakże zmienia się ich skład procentowy. Ropa naftowa w stanie określanym jako „surowy” jest mieszaniną wielu związków chemicznych, wśród których najważniejszymi są węglowodory (alkany, areny i węglowodory o strukturze mieszanej) oraz związki zawierające oprócz węgla i wodoru również atom siarki (np. sulfidy, disulfidy, tiole, dibenzotiofeny), tlenu (np. kwasy naftenowe i tłuszczowe, alkohole, furany, estry, etery, ketony), azotu (np. pirydyna, chinolina, indol) czy też wszystkie te atomy razem (np. aminokwasy, żywice naftenowe czy kwasy karboksylowe) [12].

Ropa naftowa rozlana na morzu podlega wielu procesom fizycznym i chemicznym, których intensywność zależy od rodzaju ropy, a także od warunków środowiskowych. Do najbardziej znaczących zalicza się: rozpuszczanie w wodzie, głównie lekkich węglowodorów, parowanie niskowrzących frakcji, dyspersję w wodzie morskiej, adsorpcję na zawieszinie, sedymentacje ciężkich frakcji, utlenianie oraz degradację mikrobiologiczną (Burwood i Spears, 1974) [16]. Procesy te mają istotny wpływ na rozmieszczenie jej pozostałości w środowisku morskim. Natychmiast po rozlaniu rozpoczyna się rozprzestrzenianie ropy na powierzchni morza. Jego kierunek i szybkość zależą głównie od temperatury wody, kierunku wiatru i prądów. Na rozprzestrzenianie się plamy olejowej istotny wpływ mają także

związki powierzchniowo-czynne obecne w wodzie i dodawane do olejów, a w końcowej fazie rozprzestrzeniania się ropy (tuż przed osiągnięciem grubości warstwy nanomolekularnej) zasolenie wód oraz chemiczne i biologiczne warunki w powierzchniowej warstwie wody [4]. Korzeniowski obliczył, że 1 m<sup>3</sup> bliskowschodniej ropy naftowej rozlanej na powierzchni morza tworzy po 10 minutach plamę olejową o średnicy 48 m i grubości warstwy 0,5 mm, a po upływie 100 minut — o średnicy 110 m i grubości do 10 mm. Jednocześnie z rozprzestrzenianiem odbywa się odparowywanie jej lotnych składników, które może trwać do kilku tygodni. Węglowodory zawierające do 12 atomów węgla w cząsteczce, wrzące poniżej 250–260 °C, odparowują już w ciągu kilku godzin — przy sprzyjających warunkach do atmosfery przechodzi wtedy około 60% ropy [4]. Procesowi odparowywania podlegają węglowodory o temperaturze wrzenia poniżej 270 °C, mające do 20 atomów węgla w molekułe [3]. Węglowodory wrzące w wyższych temperaturach pozostają na powierzchni morza dłużej i na skutek ruchu mas wodnych ulegają dyspersji i rozpuszczeniu, które przebiegają praktycznie równoległe z procesem parowania. Zdolność rozpuszczania się węglodorów w wodzie oraz niektórych niepolarnych związków wchodzących w skład olejów jest niewielka. Rozpuszczalność wzrasta wraz ze zmniejszeniem się liczby atomów węgla w molekułe. Dane dotyczące tego zagadnienia zostały ujęte w tabeli 1. Badania laboratoryjne z olejem napędowym przeprowadzone w Wielkiej Brytanii wykazały, że w ciągu 40-godzinnego okresu przebywania oleju na powierzchni wody rozpuszczeniu uległo tylko 0,05% masy wyjściowej oleju [3].

Tabela 1. Rozpuszczalność różnych frakcji ropy naftowej w wodzie [3]

Frakcja ropy naftowej	Liczba atomów w molekułe	Rozpuszczalność (mg/dm <sup>3</sup> )
Korozyna	C <sub>10</sub> –C <sub>17</sub>	2·10 <sup>-1</sup> –1·10 <sup>-4</sup>
Oleje gazowe	C <sub>16</sub> –C <sub>25</sub>	3·10 <sup>-4</sup> –1·10 <sup>-8</sup>
Oleje smarowe	C <sub>25</sub> –C <sub>37</sub>	2·10 <sup>-7</sup> –1·10 <sup>-14</sup>
Bitumy i pozostałości podestylacyjne		< 1·10 <sup>-14</sup>

Stwierdzono ponadto, że im składniki są bardziej toksyczne, tym lepiej rozpuszczają się w wodzie. W tabeli 2. przedstawiono dane dotyczące rozpuszczalności niektórych składników ropy naftowej w wodzie [3].

Tabela 2. Rozpuszczalność niektórych składników ropy naftowej w wodzie o temp. 20 °C [3]

Składnik ropy	Rozpuszczalność w wodzie mg/dm <sup>3</sup>
propan	62,4
butan	61,4
heksan	9,5
oktan	0,66
dudekan	0,0037
tetradekan	0,0022
oktadekan	0,0021
heksadekan	0,0009
cyklopentan	156
cykloheksan	55
benzen	1780
toluen	515
o-ksylen	175
etylobenzen	152
pirydyna	nieograniczenie

Oprócz rozpuszczania oleje ulegają również procesowi rozpraszania w masie wód, emulsyfikacji i utlenianiu. Rozpraszanie ropy polega na odrywaniu się niewielkich drobinek oleju od macierzystej plamy na skutek oddziaływania mechanicznego, które następnie przemieszczają się w toni wody. Rozpraszanie dotyczy jedynie niewielkiej części plamy.

Emulsyfikacji, czyli procesowi wytwarzania się emulsji olej-woda, sprzyja mechaniczne oddziaływanie mas wodnych. Trwa on tym krócej, im bardziej wzburzona jest powierzchnia wody. Emulsja olej-woda zawierać może od 20 do 70% oleju. Trwałość tego rodzaju emulsji przekracza 100 dni [3]. Emulsja olejowa stanowi bardzo poważny problem dla ekip zwalczających skutki rozlewu. Zaobserwowano zjawisko zanikania plam olejowych rozbijanych przez fale na małe drobiny, które następnie wędrują z masą wód i w sprzyjających warunkach tworzą emulsję o postaci „pianki czekoladowej”. Emulsja ta, wyrzucona na brzeg, utraciwszy wodę, tworzy wraz z piaskiem odpady oraz smoliste grudy trudno podlegające degradacji środowiskowej [4].

Utlenianiu podlega olej wystawiony na działanie tlenu atmosferycznego i radiacji słonecznej. Stopień i szybkość utleniania fotochemicznego uzależnione są od fizycznej postaci oleju. Olej rozlany cienką warstwą bądź unoszący się w niewielkich skupiskach na powierzchni wody szybciej ulega utlenianiu aniżeli olej

rozlany grubą warstwą czy przybierający postać emulsji. W wyniku procesów utleniających powstaje szereg związków, na przykład aldehydoketony, wysoko-cząsteczkowe związki polimeryczne, a w rezultacie rozpadu długich łańcuchów węglowodorowych związki małowcząsteczkowe [12, 14]. Nowo powstałe związki małowcząsteczkowe przeważnie odparowują lub rozpuszczają się w wodzie, a wielocząsteczkowe przybierają postać smół-mazi lub lepkich gród, które opadają na dno bądź wędrują z masą wód, czyniąc duże szkody na dnie i warstwie przydennej [3]. Trzeba jednak pamiętać, że powierzchnia morza należy do strefy kontaktowej, gdzie bezpośrednie skutki rozlewu utrzymują się najdłużej — albo w postaci filmu, albo jako agregaty smolne, z których część wskutek zmiany ciężaru właściwego może opadać na dno. W późniejszym etapie następuje dalsze rozprzestrzenianie się ropy: część jest akumulowana w organizmach żywych, pozostała natomiast przedostaje się do osadów dennych, gdzie tempo degradacji jest małe ze względu na niską temperaturę oraz ograniczony dostęp światła i tlenu [6].

Podobnie jak węglowodory także związki ropopochodne w środowisku morskim są pochodzenia zarówno naturalnego, jak i antropogenicznego. Naturalnym źródłem węglowodorów ropopochodnych w morzu są wycieki ropy z dna. Ocenia się, że rocznie z tego źródła do wszechoceanu dostaje się około 0,6 milionów ton. Ponieważ jednak wycieki te odbywają się bez ingerencji człowieka, nie klasyfikuje się ich jako zanieczyszczeń [12]. Bez wątplenia zanieczyszczeniami są źródła antropogeniczne. Z szacunkowych obliczeń wynika, że wskutek działalności człowieka do oceanu światowego przedostaje się od 5 do 11 milionów ton węglowodorów ropopochodnych rocznie [12]. Największy ładunek zanieczyszczeń olejowych pochodzi z lądu, z sektora przemysłowego i komunalnego. Zanieczyszczenia olejowe z lądu przenoszone są przede wszystkim przez rzeki, a także atmosferą, szczególnie te, które generowane są przez transport i emisję przemysłową [4]. Dopływ związków ropopochodnych do Bałtyku ocenia się na 21 000–70 000 ton rocznie [9, 13], z czego zanieczyszczenia olejowe generowane na lądzie szacowane są na 19 500–50 500 ton, stanowiąc około 80% całkowitego ładunku związków ropopochodnych trafiających do Bałtyku. Pozostały ładunek olejów generowany jest działalnością na morzu, głównie w wyniku normalnej (bezawaryjnej) eksploatacji statków, w tym celowych zrzuć wód zaolejonych, katastrof oraz eksploatacji dna morskiego, związanej przede wszystkim z wydobyciem ropy naftowej [4].

## **ŹRÓDŁA WĘGLOWODORÓW ROPOPOCHODNYCH W MORZU BAŁTYCKIM**

Poza gospodarką na lądzie bardzo istotnym źródłem węglowodorów ropopochodnych w środowisku morskim jest żegluga. Rocznie ładunki ropy naftowej wnoszone do Bałtyku z tego źródła szacowane są na 160–6500 ton z bezawaryjnej eksploatacji statków oraz od 200 do 9000 ton na skutek różnego rodzaju katastrof jednostek pływających [12]. Żegluga po Bałtyku jest bardzo intensywna i stanowi około 15% żeglugi morskiej świata, co spowodowane jest głównie bardzo rozwiniętym transportem morskim na tym akwenie. Szlakami bałtyckimi przewozi się około 500 milionów ton towarów rocznie, a ponadto około 50 promów pływa regularnie na stałych szlakach, łącząc porty bałtyckie [8]. Po Bałtyku pływają ogromne masowce (ponad 150 000 dwt), małe masowce, zbiornikowce, kutry rybackie, statki turystyczne. Wyłączając statki turystyczne, z Bałtyku korzysta jednocześnie około 2000 różnej wielkości statków, w tym około 12 w pełni obciążonych chemikaliowców transportujących substancje niebezpieczne. Ocenia się, że miesięcznie wykonuje się około 4000 podróży, w czasie których transportuje się ładunki niebezpieczne. Rokroczne przewozy drogą morską materiałów niebezpiecznych stanowią setki milionów ton. Ropa naftowa i jej pochodne ilościowo mają swój największy udział. Rocznie na Bałtyku rejestruje się od 13000 do 14000 wejść tankowców do portów. W 2000 roku transport ropy po wodach Bałtyku wyniósł nieco ponad 80 milionów ton, a prognozy wskazują, że w 2015 roku masa transportowanej ropy przekroczy 130 milionów ton. Na Bałtyku działa ponad 40 terminali paliwowych i ich liczba ciągle rośnie [8]. Dane te wskazują, że ze wzrostem transportu ropy naftowej drogą morską wzrastać będą także zagrożenia ekosystemu Morza Bałtyckiego wynikające z zanieczyszczenia tego akwenu związkami ropopochodnymi.

### **Bezawaryjna eksploatacja statków**

Bardzo istotnym źródłem oleju w Bałtyku jest normalna (bezawaryjna) eksploatacja statków, w tym również statków sportowych. Rozlewy z tych źródeł powodują znaczne zagrożenie dla środowiska, jednak mają niewielkie znaczenie w skali całego morza. Wywołują one katastrofalne skutki, jednak przeważnie o zasięgu lokalnym. Stwierdzono, że najczęstszą przyczyną wprowadzania związków ropopochodnych do morza są pomyłki ludzkie i awarie urządzeń na jednostkach pływających, które są źródłem odpowiednio 46% i 34% rozlewów olejowych generowanych przez statki. Istotny udział mają także zrzuty podczas czynności

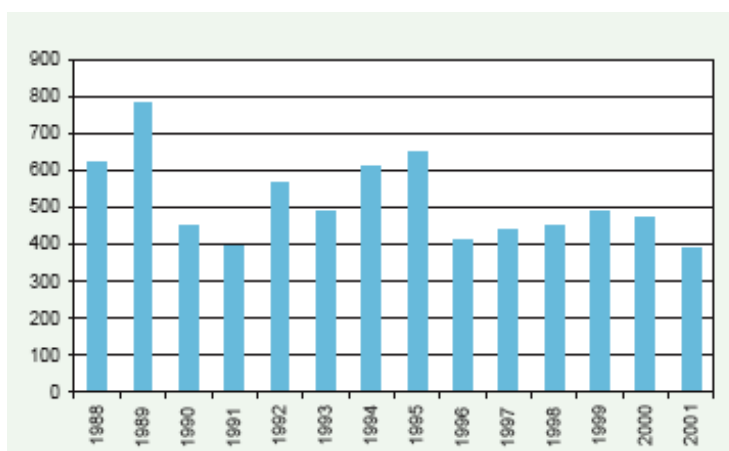


eksploatacyjnych, powodując około 20% rozlewów olejowych pochodzących z tego źródła [3]. W tabeli 3. przedstawiono procentowe udziały głównych źródeł zanieczyszczeń olejowych pochodzących ze statków.

Tabela 3. Udział głównych źródeł zanieczyszczeń olejowych ze statków [4]

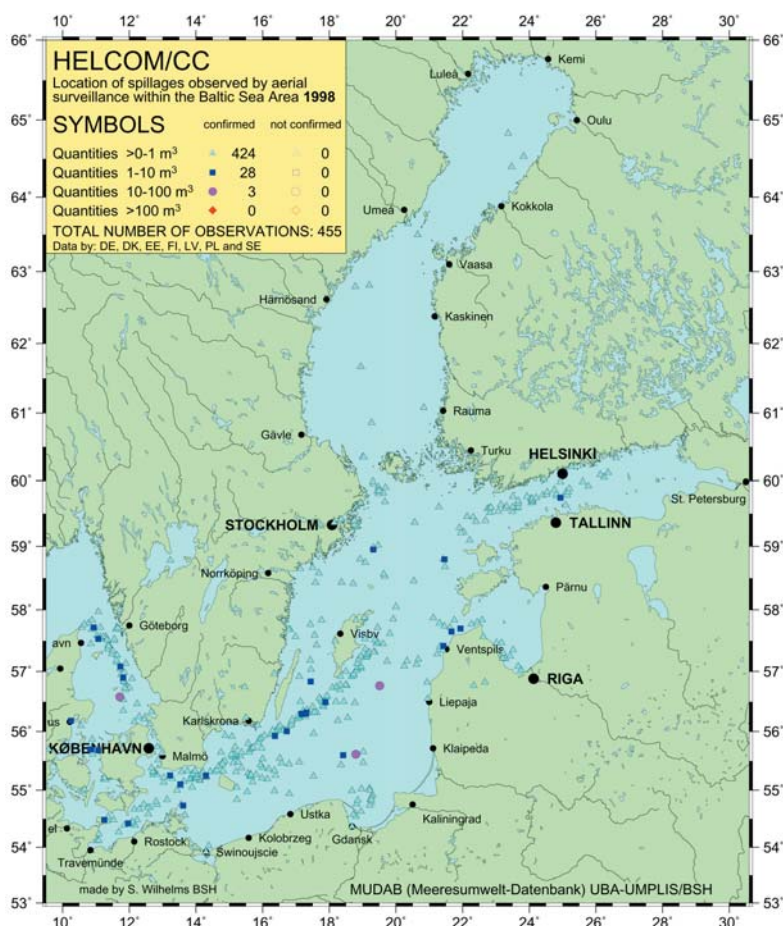
Zrzuty podczas czynności eksploatacyjnych	(%)	Awarie urządzeń	(%)	Pomyłki ludzkie	(%)
Załadunek	22	Defekt rurociągów	17	Nieodpowiedni nadzór	13
Rozładunek	33	Awarie węży	9	Nieprzestrzeganie procedury obsługi urządzeń	31
Bunkrowanie	13	Awarie ramion urządzeń ładunkowych	2	Nieuwaga	40
Balastowanie	14	Otwarcie zasuw	5	Brak łączności pomiędzy obsługującymi	7
Inne	18	Nieszczelność zasuw	64	Inne	9
		Awarie rozgałęźników	3		

W ostatnim czasie obserwuje się także wzrost rozmyślnych zanieczyszczeń olejowych. Wody usuwane ze statków za burtę zawierają zwykle więcej niż  $15 \text{ ng/dm}^3$  związków ropopochodnych (rys. 1.). Zwykle są to niewielkie objętości, poniżej  $1 \text{ m}^3$ , a więc trudne do wykrycia [8].



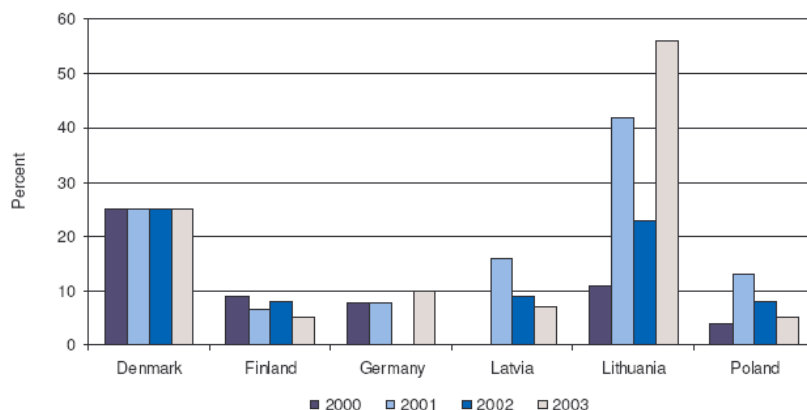
Rys. 1. Liczba wykrytych rozlewów olejowych na Bałtyku w latach 1988–2001 [8]

Największe ilości nielegalnie usuwanych za burłę, a zarejestrowanych w ramach monitoringu zanieczyszczeń olejowych, obserwuje się w cieśninie Sound, u południowych i południowo-wschodnich wybrzeży Szwecji oraz w Zatoce Fińskiej. Miejsca te ściśle powiązane są z głównymi drogami transportu morskiego na Bałtyku, jednak znaczna ilość plam olejowych wykrywana jest również poza tymi rejonami (rys. 2.) [8].



Rys. 2. Rozlewy olejowe zarejestrowane na Bałtyku w 1999 roku [8]

Na Bałtyku rejestruje się od 500 do 700 nielegalnych rozlewów olejowych rocznie, z czego jedynie w kilkunastu procentach udaje się ustalić sprawców rozlewu. Odsetek zidentyfikowanych sprawców rozlewów olejowych na Bałtyku przedstawiono na rysunku 3. [8].



Rys. 3. Rozlewy olejowe ze wskazaniem sprawców [8]

### Katastrofy statków

Wielkie rozlewy olejowe, będące zwykle następstwem katastrof zbiornikowców, wprowadzają do oceanu światowego rocznie od 3 do 4% globalnej ilości związków ropopochodnych [4]. Jednak obszary przez nie nawiedzane dotykane są klęskami o rozmiarach katastrof ekologicznych. Najczęstsze przyczyny katastrof na Bałtyku to osadzenie na mieliźnie (41%), kolizje (27%) oraz uszkodzenia maszyn i urządzeń na statkach (11%). Wśród grup statków najczęściej uczestniczących w wypadkach wyróżniono statki towarowe (38%), promy (15%), tankowce (13%), kontenerowce (10%) oraz masowce (10%). Najczęstszą przyczyną wypadków był czynnik ludzki — 39%, a kolejną usterki techniczne — 20% [12].

Od 1960 roku na Bałtyku wydarzyło się nieco ponad 40 poważnych rozlewów olejowych, w wyniku których jednorazowo do morza dostało się więcej niż 100 ton związków ropopochodnych, a ich efektem było zanieczyszczenie wód, plaż oraz śmierć wielu tysięcy ptaków morskich. Największe z nich to awarie zbiornikowców: „Globe Asimi”, „Antonio Gramsci”, „Benedicte”, „Jawachta”, „Tsesis”, „Jose Marti” i „Irni” (tabela 4.). Przeciętnie na Bałtyku zdarzają się trzy poważne rozlewy olejowe, po 225 ton każdy, jednak należy liczyć się z tym, że ryzyko rozlewów olejowych będzie wzrastać wraz z rosnącą wielkością transportu ropy oraz produktów jej przerobu [8].

W latach 1990–2001 na Morzu Bałtyckim wydarzyło się 251 kolizji statków, a w co piątej zarejestrowano uwolnienie związków ropopochodnych. Tylko w latach 2000–2001 zdarzyło się 119 wypadków (57 — 2000 r., 62 — 2001 r.),

w tym 19 z udziałem tankowców. W dziewięciu przypadkach nastąpiło zanieczyszczenie wód związkami ropopochodnymi. Całkowitą ilość uwolnionych do wód Bałtyku olejów w tym okresie (2000–2001) oceniono na 2756 m<sup>3</sup>, w tym 2500 m<sup>3</sup> w jednym zdarzeniu. W 2002 roku odnotowano łącznie 63 wypadki i kolizje. Większość, bo aż 43, zakończyła się zatonięciem jednostek, osiem dotyczyło kolizji, a pozostałe 12 innych rodzajów wypadków. Wśród statków, które uległy wypadkom i kolizjom, uczestniczyło 14 tankowców, szczęśliwie żaden z nich nie spowodował wycieku szkodliwych substancji do morza. W 2003 roku liczba wypadków i kolizji wzrosła do 71, natomiast w 2004 do 121. W 2006 roku polskie służby SAR uczestniczyły w trzech akcjach likwidacji rozlewów olejowych, a w 2007 w czterech [18].

Tabela 4. Największe rozlewy olejowe na Bałtyku od 1960 roku [8, 12]

Rok wypadku	Nazwa statku	Masa uwolnionego oleju [t]	Miejsce awarii
1969	Benedicte	2 700	Trelleborg, Szwecja
1970	Irini	800–1 000	Nynäshamn, Szwecja
1973	Jawachta	1 500–2 000	Trelleborg, Szwecja
1977	Tsisis	1 000	Nynäshamn, Szwecja
1979	Antonio Gramsci	5 500	Ventspils, Łotwa
1981	Jose Marti	1 000	Dalarö, Szwecja
1981	Globe Asimi	16 000	Klajpeda, Litwa
1990	Volgoneft	1 000	Karlskrona, Szwecja
2001	Baltic Carrier	2 700	Kadetrenden, Dania
2003	Fu Shan Hai	1 200	Bornholm, Dania

W latach 2000–2004 średnio 8–9% wypadków skutkowało różnego rodzaju zanieczyszczeniami. Dwa spośród pięciu najgroźniejszych wypadków na Bałtyku miały miejsce w 2001 roku: „Baltic Carrier (2700 ton rozlanego oleju) oraz „Fu Shan Hai” w 2003 roku (1200 ton rozlanego oleju). Ich efektem było skażenie plaż i śmierć kilku tysięcy zaolejonych ptaków. Dotychczas najgroźniejsze skutki odnotowano zimą 1994/1995, gdy na wybrzeżach Szwecji, Polski, Litwy i Łotwy doliczono się ponad 25 000 martwych ptaków i rekordowej liczby zaolejonych chorych kaczek [12].

### **Eksploracja dna**

Na ostatnim miejscu wśród źródeł węglowodorów ropopochodnych w środowisku morskim znajduje się wydobywanie gazu i ropy naftowej spod dna morskiego,

czyli działalność platform poszukiwawczych i produkcyjnych. Głównym niebezpieczeństwem prowadzenia prac wiertniczych jest możliwość niekontrolowanego przecieku gazu ziemnego oraz ropy naftowej do wód morskich.

Na Bałtyku jedynie Polska eksploatuje komercyjnie dno morskie w celu wydobywania ropy. W latach 1992–1998 wydobyto około 700 tysięcy ton ropy, a od 1994 eksploatowane są dwie platformy wydobywcze [8]. Należy podkreślić, że polskie platformy na Bałtyku, dzięki zastosowaniu specjalnej technologii (opracowanej i wdrożonej przez polskich specjalistów), wyeliminowały niemalże całkowicie zanieczyszczenia olejowe powstające podczas wierceń poszukiwawczych. Oprócz eksploatowanych przez PETROBALTIC zasobów, które oszacowane zostały na około 20 mln ton ropy oraz 10 miliardów metrów sześciennych gazu, stwierdzono także bogate pokłady ropy i gazu w południowym rejonie Bałtyku Właściwego Polski, Rosji (rejon Kaliningradzki), Litwy i Łotwy [8]. Należy zatem liczyć się z tym, że również i te złoża wcześniej czy później będą eksploatowane.

### **Gazociąg Północny**

Nord Stream (Gazociąg Północny), wspólny projekt rosyjskiego Gazpromu oraz niemieckich E.ON-Ruhrgas i BASF, wzbudza ostatnio ogromne zainteresowanie, i to nie tylko z powodów polityczno-ekonomicznych, ale również ze względu na skutki, jakie to przedsięwzięcie może wywołać w środowisku morskim. Nord Stream, priorytetowy projekt transeuropejskiej sieci energetycznej (TEN-E), jest systemem przesyłowym gazu ziemnego z Rosji do Niemiec z połączeniami do systemów lądowych w Rosji i w Niemczech. Gazociąg zbuduje firma NORD STREAM AG, która będzie operatorem morskiego systemu przesyłowego. Gazociąg Północny ma się składać z dwóch nitek i przy pełnej zdolności przesyłowej będzie w stanie dostarczyć 55 mld metrów sześciennych gazu rocznie do odbiorców w Europie północno-zachodniej. Pierwsza nitka ma być oddana do użytku w lipcu 2010 roku, natomiast druga do końca 2013 roku. Morski odcinek Gazociągu Północnego ma liczyć 1189 km. Będzie się zaczynać od tłoczni na brzegu zatoki Portowaja koło Wyborga, w rejonie Petersburga, a kończyć w Greifswaldzie w pobliżu granicy niemiecko-polskiej (rys. 4.). Rury będą miały średnicę 1219 milimetrów, a gaz będzie tłoczony pod ciśnieniem 210 atmosfer. Gazociąg Północny zostanie podłączony do rosyjskiej sieci przesyłowej za pośrednictwem lądowej magistrali Gria-zowiec-Wyborg [15].



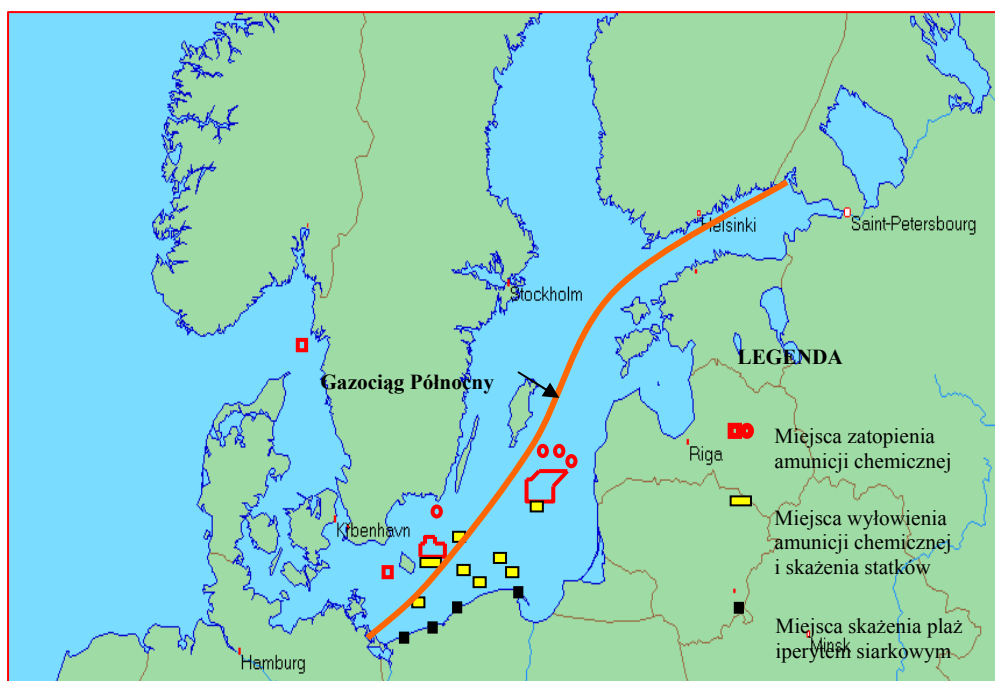
Rys. 4. Planowany przebieg gazociągu Nord Stream

Gazociąg będzie przebiegał przez wyłączne strefy ekonomiczne pięciu krajów: Rosji, Finlandii, Szwecji, Danii i Niemiec oraz wody terytorialne Rosji i Niemiec. Zgodnie z konwencją z Espoo o ocenach oddziaływania na środowisko oraz innymi przedsięwzięciami mającymi konteksty transgraniczne środowiskowymi skutkami budowy gazociągu dotknięte będą: Rosja, Finlandia, Szwecja, Dania, Niemcy, Estonia, Łotwa, Litwa i Polska [15].

Amunicja chemiczna zatopiona po II wojnie światowej ostatnio coraz rzadziej wymieniana jest jako istotne zanieczyszczenie Morza Bałtyckiego. Zdarzające się od czasu do czasu przypadki poparzenia rybaków iperytem i innymi bojowymi środkami chemicznymi wywołują gwałtowną falę artykułów prasowych, po czym następuje cisza, aż do następnego poparzenia. Obecnie zainteresowanie bojowymi środkami chemicznymi wzrasta ze względu na planowaną budowę gazociągu Nord Stream. Okazało się, że będzie on budowany w obszarach zatopienia tejże amunicji oraz na ich obrzeżach. Na rysunku 5. skorelowano trasę przebiegu gazociągu z potwierdzonymi miejscami zatopienia amunicji chemicznej [11]. Patrząc na mapę, nie powinno dziwić, że państwa nadbałtyckie zastanawiają się nad bezpieczeństwem ludzi i środowiska Morza Bałtyckiego w rejonie Bornholmu. Wniosek nasuwa się sam — prawdopodobieństwo napotkania w czasie prowadzenia prac podwodnych zatopionej amunicji jest bardzo duże.

Uwzględniając fakt, że od zatopienia amunicji w tym rejonie upłynęło już kilkadziesiąt lat, przypuszczać należy, iż stan techniczny amunicji nie jest najlepszy. Dlatego bardzo prawdopodobne jest nieumyślne spowodowanie „wycieku” bojowych

środków trujących przy najmniejszej nawet próbie ingerencji człowieka w dno morskie. W przypadku napotkania amunicji chemicznej w trakcie prowadzenia prac budowlanych może dojść przede wszystkim do bezpośredniego zagrożenia życia ludzi, zwłaszcza tych wykonujących prace podwodne. Jak się ocenia, największe zagrożenie dla środowiska naturalnego stanowią: iperyty (iperyt siarkowy, iperyt azotowy) oraz bojowe środki trujące zawierające arsen (luizyt, Clark I, Clark II i adamsyt) [10]. Naruszenie skorodowanej amunicji przyspieszy uwalnianie się środków trujących do środowiska morskiego, powodując zwiększenie ich stężenia w tym ekosystemie. Najbardziej ucierpią organizmy żywe, które będą miały bezpośredni kontakt ze środkami trującymi. Takie zdarzenia mogą bardzo negatywnie wpłynąć na wyniki ekonomiczne przedsiębiorstw zajmujących się połowem ryb. Z pewnością nie będzie ono obojętne także dla flory i fauny Bałtyku, a tym samym dla szeroko pojętych użytkowników morza. Już obserwuje się wzrost stężenia arsenu, nie tylko w rejonach zatopienia, ale również na trasach transportu. Istnieje również obawa, że dojdzie do skażeń, których skutki odczuwalne będą przez kilkadziesiąt kolejnych lat [11].



Rys. 5. Miejsca zatopienia amunicji i przebieg Nord Stream [11]

Dodatkowo gazociąg Nord Stream, jeśli oczywiście przedsięwzięcie zostanie zrealizowane, stanowić będzie kolejne poważne źródło węglowodorów (gazu) w Morzu Bałtyckim. Uszkodzenie rurociągu, spowodowane na przykład przez kotwicę statków, zatopienie i osadzenie na dnie statku oraz eksplozję składowanej amunicji w pobliżu rurociągu, może spowodować wyciek gazu i przedostanie się go do środowiska morskiego i atmosfery. Jeśli rurociąg zostanie przedziurawiony lub przetarty, upłynie pewien czas, zanim odnotuje się spadek ciśnienia na brzegu na stacji kompresorowej lub na platformie obsługowej i system zabezpieczający automatycznie zamknie zawory rurociągu. Gaz będzie przedostawał się do wody. Zależnie od właściwości fizykochemicznych gazu, a także warunków i parametrów środowiska (np. gęstość wody, temperatura wody i powietrza) będzie on rozpuszczał się w wodzie, a także rozprzestrzeniał się w niej ku atmosferze. Przy sprzyjających warunkach (w zależności od warunków atmosferycznych i ciężaru gazu) po osiągnięciu powierzchni morza gaz będzie uchodził do atmosfery. W zależności od osiągniętego stężenia gazu w chmurze gazowej zaistnieje ryzyko jej zapalenia się od ewentualnego, znajdującego się w pobliżu źródła zapłonu. W przypadku gdy źródło zapłonu będzie się znajdować na pokładzie przepływającego statku lub jednostki, która spowodowała uszkodzenie gazociągu, wówczas zaistnieje niebezpieczeństwo dla załogi znajdującej się na pokładzie. Część gazu, która zostanie rozpuszczona w wodzie, będzie oddziaływała toksycznie na morskie środowisko naturalne. Oprócz bezpośredniego, toksycznego oddziaływania gazu na organizmy żywe, spodziewać się należy oddziaływania pośredniego. Możliwe przesylenie wody morskiej rozpuszczonym gazem spowoduje zubożenie w rozpuszczony w niej tlen, co nie będzie obojętne dla organizmów morskich, szczególnie tych, które zamieszkują denną strefę Bałtyku.

W ostatnich tygodniach Parlament Europejski, na wniosek Polski, negatywnie ocenił wpływ budowy Gazociągu Północnego na środowisko Morza Bałtyckiego.

## **SKUTKI OBECNOŚCI ZWIĄZKÓW ROPOPOCHODNYCH W MORZU**

Zanieczyszczenia olejowe w morzu, wskutek właściwości toksycznych i karcinogennych, stanowią zarówno bezpośrednie, jak i pośrednie zagrożenie dla hydrosfery. Bezpośrednimi i najbardziej istotnymi zagrożeniami w tym środowisku są [12]:

- naruszenie równowagi w wymianie energii, pary wodnej i gazów pomiędzy hydrosferą i atmosferą,
- modyfikacja pola światła w morzu,
- toksyczne oddziaływanie na organizmy żywe.



Do efektów pośrednich zalicza się:

- zmniejszenie głębokości strefy eufotycznej;
- tworzenie się w wyniku reakcji chemicznych różnego typu związków toksycznych, charakteryzujących się często bardzo dużą rozpuszczalnością w wodzie;
- zaburzenie składu hydrosfery poprzez wiązanie tlenu i jonów niezbędnych do życia, a wydzielanie lotnych węglowodorów, dwutlenku węgla, kwasów organicznych, związków tłuszczowych, ketonów itp.

Ekologiczne skutki zanieczyszczeń węglowodorowych szczególnie jaskrawo mogą zaznaczyć się w morzach słonawych, które ze względu na swą hydrologiczną specyfikę charakteryzują się słabą wymianą wód. W morzach tych nawet niewielkie zanieczyszczenia powodują deformację reżimu tlenowego. Ropa naftowa przez zachwianie stosunków gazowych powoduje zmiany w biocenozach. Największe zapotrzebowanie na tlen występuje w strefie dennej, gdzie ulegają rozkładowi gromadzące się tam związki organiczne. Powstające ubytki tlenowe wywierają szczególnie ujemny wpływ na faunę denną, a pośrednio na ryby bentosożerne [1, 2, 5].

Wpływ związków ropopochodnych na populacje organizmów wyraża się zmniejszeniem biomasy zarówno w wyniku eliminacji gatunków, jak i zmian fenotypowych, w szczególności morfologicznych, dotyczących rozmiaru i masy ciała. W rezultacie dochodzi do zmniejszenia biomasy morza. Badania wpływu zanieczyszczeń morza związkami ropopochodnymi na produkcję biomasy prowadzone na organizmach żywych wykazały, że młode organizmy silnie reagują na toksyczność związków ropopochodnych. Starsze osobniki wykazują nieco większą odporność w odniesieniu do toksyczności związków ropopochodnych, wymagają jednak większego natlenienia, które w akwenach zanieczyszczonych związkami ropopochodnymi wyraźnie spada [17].

Eksperymentalne badania wykazały, że poszczególne taksonomiczne jednostki zwierzęce mają bardzo różną odporność na zanieczyszczenia związkami ropopochodnymi. Dolna granica wpływu na ryby jest oceniana na  $16 \text{ mg/dm}^3$ , natomiast młode osobniki reagują znacznie silniej i jako granicę przyjmuje się dla nich stężenie ropy  $1,2 \text{ mg/dm}^3$ . Należy jednak zaznaczyć, że już przy stężeniu  $0,05 \text{ mg/dm}^3$  mięso rybnie może mieć nieprzyjemny zapach, co eliminuje je z handlu. Szczególnie silnie na skażenia ropą reagują drobne zwierzęta planktonowe, dla których dolna granica reakcji ustala się już na poziomie  $0,1 \text{ mg/dm}^3$ , dla zoobentosu zaś  $1,4 \text{ mg/dm}^3$  [17].

Bardzo istotny jest wpływ związków ropopochodnych na fitoplankton, gdyż od tego wyjściowego ogniwa troficznego zależy dalsza produkcja zbiornika. W trakcie badań na zielenicach i okrzemkach stwierdzono (stężenia w granicach  $0,5\text{--}50 \text{ mg/dm}^3$ )

bardzo różną wrażliwość poszczególnych gatunków. Wysokie stężenia zanieczyszczeń hamowały procesy fotosyntezy całkowicie w ciągu tygodnia u wszystkich badanych gatunków. Niskie stężenia powodowały obniżenie fotosyntezy u pewnych gatunków zielenic w ciągu 6 tygodni, natomiast inne gatunki (np. *Nephrochrolis salina*) reagowały początkowo zwiększeniem intensywności fotosyntezy, ale zjawisko to ustępowało po upływie 7 tygodni i rozpoczynał się proces inhibujący. U okrzemek niskie stężenia ropy naftowej mogą działać stymulująco, wyższe zdecydowanie hamują fotosyntezę. Szczególnie odpornym na omawiane zanieczyszczenia jest *Coscinodiscus grani*, u którego inhibujący wpływ zaznacza się dopiero przy stężeniu zanieczyszczeń  $50 \text{ mg/dm}^3$  [17].

Istnieją również organizmy morskie, które cechują się dużą odpornością na zanieczyszczenia olejowe. Badania wytrzymałościowe (laboratoryjne) małży (organizmy filtrujące, odgrywają dużą rolę przy oczyszczaniu wody z emulsyjnej zawiesiny ropy naftowej, którą odkładają na dno w postaci pseudofekali) wykazały dużą odporność tych organizmów na zanieczyszczenia ropopochodne. Stężenia związków ropopochodnych rzędu  $0,01\text{--}0,1 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ , niezależnie od temperatury, nie powodowały śmiertelności podczas 30-dniowego eksperymentu. Stężenia  $1 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$  powodowały śmiertelność w wyższych temperaturach, natomiast w temperaturze zbliżonej do warunków zimowych małże pomimo znacznego osłabienia wytrzymywały stężenia nawet  $5 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ , a po przeniesieniu do wody czystej wracały do normy. Badano również intensywność oddychania małży w środowisku skażonym ropą naftową. Przy zanieczyszczeniu  $0,1 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$  nie różniła się ona od próby kontrolnej. Oddychanie małży przetrzymywanych krótko w stężeniu wyższym, ok.  $1 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ , nieznacznie różniło się od prób kontrolnych [17]. Powyższe badania na przeżywalność i intensywność oddychania wykazały, że małż znosi dość dobrze zanieczyszczenia olejowe, zwłaszcza przy niższej temperaturze, a co za tym idzie, gatunek ten może odegrać poważną rolę w procesach samooczyszczania zbiorników.

Chociaż niektóre gatunki mają znaczną odporność na zanieczyszczenia ropą, to jednak większość z nich reaguje obniżeniem fotosyntezy, a nawet zahamowaniem rozrodu. W konsekwencji zanieczyszczeń olejowych w zbiorniku wodnym spada produkcja pierwotna oraz znikają niektóre gatunki fitoplanktonowe.

Poligonem doświadczalnym do badań wpływu ropy naftowej są tereny katastrof tankowców. Ciekawe obserwacje poczyniono w Zatoce San Francisco, gdzie w 1974 roku w wyniku zderzenia rozbiły się dwa tankowce. Rozlało się wówczas  $3155 \text{ m}^3$  ropy, która rozprzestrzeniła się na dużej powierzchni. W skażonym rejonie zginęły małże, ślimaki, strzykwy i ryby. Największą śmiertelność zanotowano u pąkli (skorupiaki obficie występujące również w Morzu Bałtyckim), w rezultacie pokrycia ciężkimi

frakcjami ropy. Bardzo silnie ucierpiały również kraby. Stwierdzono, w porównaniu z wcześniejszymi badaniami, że biocenozy straciły około 60% organizmów zwierzęcych i roślinnych. Silniej ucierpiały rośliny jednoroczne niż wieloletnie. U jednych i drugich obserwowano zahamowanie wzrostu. W wyniku katastrofy następuje poważny spadek dużych gatunków, lepsze przetrwanie obserwuje się u małych gatunków. W miarę ustępowania zanieczyszczeń obserwowano stopniowe zasiedlanie tych rejonów. W pierwszym okresie pojawiły się zielenice. Po upływie prawie trzech lat od katastrofy biocenoza nie powróciła do stanu pełnej równowagi, gdyż ponowne zasiedlanie skażonych terenów jest procesem długotrwałym [17]. Szczególnie niebezpieczne są katastrofy dla akwenów arktycznych. Zarówno chemiczne, jak i biochemiczne procesy rozkładu ropy naftowej ze względu na niską temperaturę przebiegają tu niezmiernie wolno i węglowodory ropy naftowej utrzymują się przez długi czas po zanieczyszczeniu [6].

Stężenie węglowodorów w otwartych wodach Bałtyku waha się od dziesiątych części mikrograma do kilku mikrogramów (średnio 1,5–1,8  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ). Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że często w najbardziej powierzchniowej warstewce wody stwierdza się stężenia węglowodorów wynoszące nawet 33–717  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ . Maksymalne stężenia wiążą się zwykle z występowaniem plam ropy naftowej. Do szczególnie zanieczyszczonych akwenów Bałtyku należą: Zatoka Meklemburska, rejony Sztokholmu, Helsinek i Turku. Zatokę Gdańską zalicza się do akwenów umiarkowanie zanieczyszczonych [8].

## PODSUMOWANIE

Obecnie wiadomym jest, że wszystkie rodzaje ropy naftowej i produkty jej przeróbki są podatne w środowisku wodnym na rozkład mikrobiologiczny. Liczba gatunków bakterii i grzybów zdolnych do biologicznego degradowania węglowodorów wynosi około tysiąca [3]. Na obszarach chronicznie zanieczyszczonych węglowodorami obserwowany jest wzrost populacji mikroorganizmów zdolnych do żerowania na węglowodorach. Aktywność mikroorganizmów uzależniona jest od składu ropy czy produktu jej przeróbki, zawartości soli biogenicznych, tlenu oraz składu gatunkowego kultur mikroorganizmów. Różne frakcje ropy podlegają w różnym stopniu biodegradacji. Najbardziej podatnymi są n-alkany, a następnie związki aromatyczne i naftany. Im dłuższy jest łańcuch alkanu, tym większa jego odporność na biooksydację. Alkany w łańcuchach rozgałęzionych są bardziej odporne od alkanów o łańcuchach prostych. Badania wykazały, że kultury mikrobów

rozkładają węglowodory w granicach temperatur od  $-2$  do  $+70$  °C. W zależności od doboru wyżej wymienionych czynników mikroorganizmy zdolne są w ciągu doby rozłożyć od 0,02 do 2 gramów węglowodorów na metrze kwadratowym powierzchni wody w granicach temperatury 20–30 °C. Znaczenie mikroorganizmów w procesie likwidowania ropy i produktów naftowych siłami natury nie jest jednak takie, jak się spodziewano. Przeceniono rolę, jaką mogą one spełniać. Sądzone, że odpowiednio dobrane kultury mikroorganizmów będą zdolne do zlikwidowania w krótkim czasie nawet wielkich rozlewów ropy. Rzeczywistość okazała się inna. To, co w warunkach laboratoryjnych dawało nadzieję na rozwiązanie problemu zanieczyszczeń olejowych (np. sądzono, że nanoszone na plamy olejowe kultury mikroorganizmów będą spełniać funkcję „oczyszczaczy”), w warunkach rzeczywistych nie do końca się sprawdziło. Okazało się, iż biodegradacja związków ropopochodnych w morzach nie następuje tak szybko, jak sądzono.

Reasumując, specyficzne warunki hydrologiczne Morza Bałtyckiego oraz rozwój cywilizacyjny, ze wszystkimi jego negatywnymi skutkami, spowodowały, że akwen ten stał się zbiornikiem kumulującym wszelkiego rodzaju zanieczyszczenia. Efektem jest katastrofalny stan biocenozy morskiej. Przez niespełna kilkadziesiąt lat wyginęło w nim wiele gatunków fauny i flory. Znacznie pogorszył się stan wód bałtyckich, zarówno pod względem fizycznym, jak i chemicznym. Również rekreacyjno-turystyczna funkcja Bałtyku została mocno ograniczona. Twierdzenie, iż morze potrafi obronić się samo, stało się już nieaktualne. Raporty stwierdzające ogromne wielkości ładunków zanieczyszczeń wnoszonych różnymi drogami do ekosystemu morskiego pokazują skalę problemu. Miliony ton szkodliwych substancji rocznie, w tym związków ropopochodnych, przedostaje się do wód Bałtyku, gdzie gromadzą się, przekształcając naturalne środowisko morskie w akwen pozbawiony wszelkich form życia. Układ hydrologiczny oraz ukształtowanie dna powoduje, iż Bałtyk jest morzem praktycznie zamkniętym, co sprawia, że przeważająca część zanieczyszczeń na trwałe w nim pozostaje. Jak można sądzić, zdolność morza do samooczyszczania ulega stopniowemu zmniejszaniu. Jeżeli nie nastąpi wyraźna redukcja wielkości zanieczyszczeń dostających się do Bałtyku, w niedługim czasie stanie się on wielkim zbiornikiem ścieków antropogenicznych i pomimo ogromnych starań wielu organizacji międzynarodowych, stowarzyszeń ekologicznych, instytutów naukowych i rządów wszystkich państw nadbałtyckich przekształci się w morze martwe. Skutki takiej sytuacji i ewentualny powrót do stanu równowagi biologicznej będą nurtowały jeszcze wiele pokoleń mieszkańców państw basenu Morza Bałtyckiego.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Baumard P., Budzinski H., Garrigues P., Dizer H., Hansen P. D., *Polycyclic aromatic hydrocarbon in recent sediments and mussels (Mytilus edulis) from Western Baltic Sea: occurrence, bioavailability and seasonal variations*, „Marine Environ. Research”, 47, 1, 1999a, pp. 17–47.
- [2] Baumard P., Budzinski H., Garrigues P., Narbonne J. F., Burgeot T., Michel X., Bellocq J., *Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) burden of mussels (Mytilus sp.) in different marine environments in relation with sediment PAH contamination, and bioavailability*, „Marine Environ. Research”, 47, 5, 1999b, pp. 415–439.
- [3] Bądkowski A., *Ropopochodne na wodach, gruncie i w gruncie. Następstwa środowiskowe, sposoby i metody eliminacji*, [w:], *Ekologiczne aspekty funkcjonowania jednostek pływających Marynarki Wojennej, statków i portów morskich*, materiały z sympozjum naukowego, Gdynia 2000, s. 143–162.
- [4] Bądkowski A., *Rozlewy olejowe na morzu. Przyczyny, zapobieganie, wykrywanie, zwalczanie, największe katastrofy*, Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 1985.
- [5] Bohem P. D., Barak J. E., Fiest D. L., Elskus A. A., *A chemical investigation of the transport and fate of petroleum hydrocarbons in littoral and benthic environments: The TSEISIS oil spill*, „Marine Environ. Research”, 6, 3, 1982, pp. 157–188.
- [6] Galas E., Kwapisz E., Tarabasz-Szymańska Ł., Krystynowicz A., Antczak T., Oryńska A., *Charakterystyka wybranych szczepów bakterii degradujących węglowodory ropy naftowej*, „Biotechnologia”, 1, 36, 1997, s. 145–157.
- [7] GESAMP, *Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution: The health of the ocean*, „UNEP Regional Seas Reports and Studies”, 16, 1983, pp. 1–111.
- [8] HELCOM, *The Baltic Marine Environment 1999–2002*, „Baltic Sea Environ. Proc.”, 87, 2003.
- [9] HELCOM, *Third periodic assessment of the state of the marine environment of the Baltic Sea, 1989–1993. Executive Summary*, „Baltic Sea Environ. Proc.”, 64A, 1996.
- [10] Kasperek T., *Broń chemiczna zatopiona w Morzu Bałtyckim, historia, teraźniejszość, zagrożenia, możliwości przeciwdziałania*, Wyd. Adam Marszałek, Toruń 2000.
- [11] Kasperek T., *Skutki ekologiczne związane z budową Nord Stream i naruszeniem zatopionej amunicji chemicznej w obszarze Głębi Bornholmskiej i akwenach przyległych*, [w:], *Bezpieczeństwo na Morzu Bałtyckim wyzwaniem dla zintegrowanej Europy*, NOT, Koszalin — Kołobrzeg 2007, s. 299–306.

- [12] Korzeniowski K., *Ochrona środowiska morskiego*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 1998.
- [13] Lahtvee V., *The oil business in the Baltic is getting out of control*, „Baltic Bull.”, 2–3, 1995, pp. 12–17.
- [14] Larsson R. A., Hunt L. L., Blankenship D. W., *Formation of toxic products from a No 2 fuel oil by photooxidation*, „Environ. Sci. Tech.”, 11, 1977, pp. 492–496.
- [15] Nord Stream, *Project information document, Offshore Pipeline through the Baltic Sea*, 2006 [http://www.mos.gov.pl/2materialy\\_informacyjne/inne/rurociag/pid\\_polish.pdf](http://www.mos.gov.pl/2materialy_informacyjne/inne/rurociag/pid_polish.pdf).
- [16] Reszko, M., *Oleje o wysokiej gęstości*, [w:], *Ekologiczne aspekty funkcjonowania jednostek pływających Marynarki Wojennej, statków i portów morskich*, materiały z II Sympozjum Naukowego, Gdynia 2002, s. 49–51.
- [17] Różańska Z., *Ekologia środowiska morskiego*, Wydawnictwo ART, Olsztyn 1999.
- [18] SAR, 2008, <http://www.sar.gov.pl/SAR/sar.php> z dnia 17.09.2008.

### ABSTRACT

Due to its geographical characteristics the Baltic Sea is exposed to pollution, especially by chemicals. Following the MARPOL 1972/78 Convention the Baltic is regarded as a special water area and subject to rigorous regulations concerning its use. The aim of the decision was to reduce the amount of pollution coming from floating vessels. The paper analyses threats related to the presence of oil-based carbohydrates in the sea, produced mainly by floating vessels. It is the first paper in a series of papers dedicated to ecological threats to the Baltic related to chemical pollution.

Recenzent prof. dr hab. Bogdan Skwarzec