

# Zagrożenie zanieczyszczenia środowiska wodnego związkami ropopochodnymi

*Maria Włodarczyk-Makuła\**

## Wstęp

Ropa naftowa stała się podstawowym surowcem do produkcji energii oraz dla przemysłu chemicznego. Produkty ropopochodne są stosowane w wielu zakładach przemysłowych i w środkach transportu. Jednak ropa naftowa zarówno w stanie nieprzetworzonym jak i jej produkty, w przypadku niekontrolowanej emisji do środowiska, stanowią poważne zagrożenie. Zagrożenie to wynika z rozprzestrzeniania się, migracji, trwałości i kumulacji w organizmach zasiedlających środowisko oraz w osadach dennych. Ponadto składniki ropy naftowej takie jak lotne węglowodory benzen, toluen, ksyleny BTX oraz wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne wykazują działanie rakotwórcze i mutagenne w odniesieniu do organizmów wodnych. Skład ropy naftowej jest mieszaniną wielu związków zaliczanych do węglowodorów. Jednak w badaniach monitoringowych oraz badaniach prowadzonych w celu klasyfikacji wód powierzchniowych i podziemnych zalecane jest oznaczanie jedynie wybranych związków z grupy węglowodorów lotnych i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych

nych. Oznaczanie tych związków w środowisku wymaga zastosowania układu chromatograficznego złożonego z chromatografu gazowego i detektora płomieniowo-jonizacyjnego. W artykule przedstawiono podstawowe informacje dotyczące źródeł związków ropopochodnych w środowisku, uwarunkowań prawnych dotyczących środowiska wodnego oraz analityki i możliwości usuwania niekontrolowanych rozlewisk tych substancji.

## Związki ropopochodne

Uwzględniając pochodzenie (obumarłe organizmy roślinne i zwierzęce) prekursorami ropy naftowej są proteiny, lipidy, ligniny i węglowodany. Składniki te są bowiem materiałem budulcowym drewna fitoplanktonu, zooplanktonu, kręgowców i skorupiaków. Zatem w ropie naftowej występują różne połączenia organiczne takich pierwiastków jak węgiel, tlen, wodór, azot, siarka, magnez, nikiel, żelazo, wanad oraz chlor [Syrugała 2006]. Do produktów ropopochodnych zalicza się paliwa takie jak benzyna czy oleje napędowe oraz rozpuszczalniki, żywice, wazeliny, parafiny i cerezyny oraz mieszaniny

węglowodorów naftenowych, parafinowych i aromatycznych. W odniesieniu do składu chemicznego należy wymienić:

- węglowodory nasycone,
- węglowodory alkilo-nafto-aromatyczne,
- węglowodory aromatyczne,
- związki heteroorganiczne.

Stanowią one 97% składu ropy naftowej, przy zawartości węgla na poziomie 85% [Podniało 2002, Zieńko 1997]. Do węglowodorów nasyconych zalicza się alkanany o łańcuchach rozgałęzionych, prostych lub cyklicznych, alkeny i alkiiny. Zawartość węglowodorów aromatycznych w ropie naftowej wynosi 15%, lecz we frakcjach wyżej wrzących może dochodzić do 50%. Wśród tych związków duże znaczenie mają benzen oraz toluen, ksyleny i chlorowane fenole. Związki te wyróżniają się tym, że są lotne i wykazują działanie toksyczne na organizmy [Siemiński 2008]. Dlatego ograniczenie emisji tych zanieczyszczeń do środowiska jest ciągle aktualne i ważne. Również toksycznymi składnikami ropy naftowej są wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne. Zarówno węglowodory jednopierścieniowe jak i wielopierścienio-

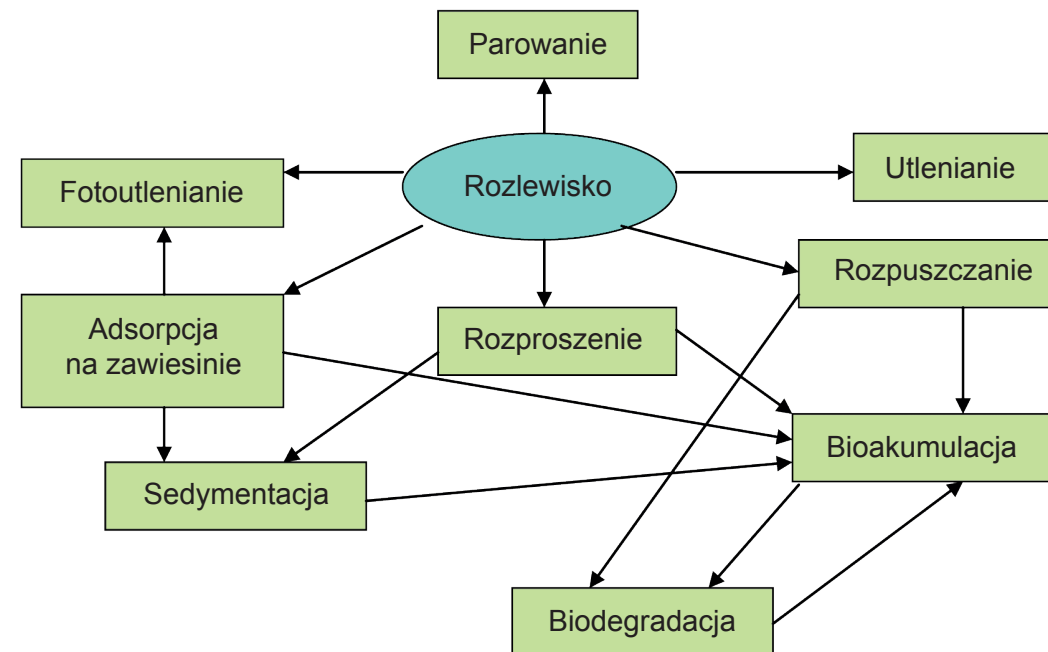
we nie są całkowicie spalane i występują w gazach spalinowych. Są emitowane do atmosfery skąd w wyniku suchej i mokrej depozycji migrują do wód powierzchniowych i gleby. Źródłami tych związków w środowisku gruntowo-wodnym są ponadto:

- prace poszukiwawcze ropy naftowej i jej wydobycie;
- transport ropy naftowej i produktów ropopochodnych, ich magazynowanie i dystrybucja;
- rafinerie i zakłady petrochemiczne;
- użytkowanie ropy naftowej i jej produktów w przemyśle, transporcie oraz w obiektach wojskowych;
- przeróbka odpadów zawierających produkty ropopochodne;
- spływy powierzchniowe zawierające produkty ścierania opon i asfaltu;
- niedostatecznie oczyszczone ścieki miejskie i przemysłowe [Rup 2006, Wiatr 2003, Siuta 2003, Badowska 2013, Mrowiec 2012, Siebielska 2013].

Przykładowe badania dotyczące zawartości węglowodorów aromatycznych (BTX) w ściekach komunalnych prowadziła Mrowiec. Stężenie benzenu sięgało 30 µg/l, toluenu –

290 µg/l natomiast ksylenów – 932 µg/l [Mrowiec 2012]. Zawartość WWA w ściekach opadowych dopływających do separatorów oraz oczyszczonych, a także w wodach rzeki Słupi badali Siebielska i Szymański [Siebielska 2013]. Stężenie sumaryczne sześciu WWA rekomendowanych do analizy przez WHO w wodach opadowych sięgało 7,4 mg/l, natomiast szesnastu WWA zalecanych do analizy przez EPA – 23,3 mg/l. W wodach odpływających z separatorów nie przekraczało 20 mg/l. W wodach rzeki Słupi, do której wprowadzane są oczyszczone wody opadowe stężenia sześciu WWA i szesnastu związków nie przekraczały odpowiednio 5 i 10 mg/l [Siebielska 2013]. Z kolei stężenie związków ropopochodnych jako stężenie indeksu oleju mineralnego w wodach opadowych wyznaczała Badowska. Wartości tego indeksu były zawarte w zakresie od 230 do 1030 µg/l [Badowska 2013]. Należy podkreślić, że w przypadku wód powierzchniowych, w największym stopniu zanieczyszczane są morza i oceany. Jest to związane nie tylko z poszukiwaniem złóż i eksploatacją platform wiertniczych lecz głównie z transportem. Wynika to z:

- bieżącej eksploatacji tankowców i zbiornikowców,
- przeładunków w portach,
- niekontrolowanych wycieków w sytuacjach awaryjnych, kolizji, osiadania, pożarów i uszkodzeń jednostek transportowych itp.,
- wycieków z wraków zalegających na dnie morskim,
- samoczynnego wypływu



Rys. 1. Przemiany związków ropopochodnych w środowisku wodnym [Gutteter-Grudziński 2012]

ropy naftowej spod dna morskiego, – usuwania zaolejonych wód zęzowych z siłowni i ładowni jednostek pływających [Gutteter-Grudziński 2012].

W przypadku wprowadzenia związków ropopochodnych do wód charakterystyczne jest powstawanie rozlewiska, o którego zasięgu decyduje szereg czynników. Do nich należy ilość, gęstość, lepkość, temperatura a także czas i prędkość wiatru. Podczas przebywania w środowisku wodnym, związki ropopochodne ulegają wielokierunkowym przemianom, których intensywność jest zależna od rodzaju i ilości ropopochodnych, wielkości plamy rozlewiska oraz czasu i warunków miejscowych. Ponadto w sposób ciągły ulegają rozplywowi i dryfowaniu. Oprócz procesów fizyczno-chemicznych związki ropopochodne ulegają częściowej biodegrada-

cji i bioakumulacji. Na rys. 1 przedstawiono schematycznie te przemiany. [Gutteter-Grudziński 2012].

#### Przepisy prawne

Substancje zaliczane do ropopochodnych wymieniane są w przepisach prawnych dotyczących wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych [Dz. U. 2014, poz. 1482]. Wartości graniczne w grupie wskaźników jakości wód zaliczanych do substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego, odnoszących się do jednolitych części wód powierzchniowych, podane są dla węglowodorów ropopochodnych wyrażonych wskaźnikiem określanym jako indeks oleju mineralnego. Wartość tego wskaźnika nie powinna być większa od 0,2 mg/l dla dwóch pierwszych kategorii jakości czyli dla wód, w odnie-

śieniu do których stan ekologiczny jest bardzo dobry lub dobry. Dla pozostałych kategorii jakości, czyli wód zaklasyfikowanych do umiarkowanego, słabego i złego stanu ekologicznego nie podaje się wartości dopuszczalnych. Wśród substancji priorytetowych natomiast, podawanych w środowiskowych normach jakości, wymienia się benzen z grupy lotnych węglowodorów aromatycznych oraz naftalen, fluoranten, benzo(a)piren, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(ghi)perylene oraz indeno(123,cd)piren z grupy wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych – tabela 1 [Dz. U. 2014, poz. 1482].

Dla benzenu stężenie średnioroczne wynosi 10 i 8 µg/l odpowiednio dla jednolitych części wód powierzchniowych oraz przejściowych lub przybrzeżnych. Maksymalne dopuszczalne stężenie tego

Tabela 1. Dopuszczalne stężenia ropopochodnych w wodach powierzchniowych, µg/l [Dz.U. 2014 poz. 1482]

Wskaźnik	Jednolite części wód (struga, strumień, potok, rzeka, kanał, jezioro, zbiorniki wodne)		Jednolite części wód przejściowych i przybrzeżnych	
	Stężenie średnioroczne	Stężenie maksymalne	Stężenie średnioroczne	Stężenie maksymalne
Benzen	10	50	8	50
Naftalen	2,4	*	1,2	*
Fluoranten	0,1	1	0,1	1
Benzo(a)piren	0,05	0,1	0,05	0,01
Benzo(b)fluoranten	0,03	*	0,03	*
Benzo(k)fluoranten				
Benzo(g,h,i)perylen	0,002	*	0,002	*
Indeno(1,2,3-cd)piren				

\* – przy zrzutach stałych, dopuszczalne stężenia maksymalne są równe stężeniom średniorocznym.

związku niezależnie od rodzaju wód określono na poziomie 50 µg/l. Spośród WWA wyszczególniono BaP, a pozostałe pogrupowano podając stężenia sumaryczne. I tak dla BaP stężenie średnioroczne wynosi 0,05 µg/l, a maksymalne dopuszczalne – 0,1 i 0,01 µg/l odpowiednio dla jednolitych części wód oraz przejściowych lub przybrzeżnych. Sumaryczne dopuszczalne średnioroczne stężenie benzo-fluorantenów (BbF i BkF) niezależnie od rodzaju wód wynosi 0,03 µg/l. Natomiast na poziomie 0,002 µg/l określono wartość maksymalną dla sumarycznego stężenia pozostałych dwóch węglowodorów ((Bghi)P i I(123cd)P) [Dz. U. 2014, poz. 1482].

W odniesieniu do wód podziemnych obowiązuje Rozporządzenie w sprawie kryteriów i sposobu ich oceny stanu [Dz. U. 2008, Nr 143 poz. 896]. Wymienia się substancje ropopochodne, benzen, BTX (lotne węglowodory aromatyczne tj. benzen, toluen, ksyleny) oraz benzo(a)piren i WWA. W tabeli 2 przedstawiono wartości dopuszczalne tych wskaźni-

ków dla tła hydrogeochemicznego oraz pięciu klas czystości wód podziemnych [Dz. U. 2008, Nr 143, poz. 896].

Związki ropopochodne wprowadzone są także do przepisów pranych dotyczących monitoringu wód powierzchniowych i podziemnych [Dz. U. 2011, Nr 258, poz.1550]. W ramach monitoringu diagnostycznego w wodach powierzchniowych, indeks oleju mineralnego powinien być określany 4-krotnie w ciągu roku, a benzen 12-krotnie. Ponadto, w grupie substancji priorytetowych, w dziedzinie polityki wodnej wymienia się sześć związków zaliczanych do WWA. W zakresie monitoringu wód podziemnych wyszczególniono benzen, lotne węglowodory aromatyczne

BTX oraz osiem WWA [Dz. U. 2011, Nr 258, poz.1550].

#### Metodyka analityczna

Analitykę związków ropopochodnych oznaczanych jako indeks oleju mineralnego w roztworach wodnych prowadzi się z wykorzystaniem chromatografii gazowej po uprzedniej ekstrakcji rozpuszczalnikowej [PN-EN ISO 9377-2]. Zalecany detektorem do ilościowego oznaczania jest detektor płomieniowo-jonizacyjny FID. Dotyczy to węglowodorów, które mogą być ekstrahowane organicznym rozpuszczalnikiem o temperaturze wrzenia pomiędzy 36 a 69°C i nie adsorbują się na Florisilu (preparowana ziemia okrzemkowa). Czas retencji tych związków

przyjmuje wartości pomiędzy czasem retencji n-dekanu C<sub>10</sub>H<sub>22</sub> a czasem retencji n-tetrakontanu C<sub>40</sub>H<sub>82</sub>. Zatem tą metodą można oznaczyć zawartość węglowodorów alifatycznych (o długich lub rozgałęzionych łańcuchach), alicyklicznych oraz aromatycznych (w tym z podstawnikami alkilowymi). W oznaczaniu przeszkadzają związki o niskiej polarności takie jak chlorowe pochodne węglowodorów oraz związki polarne (w wysokich stężeniach) a także substancje powierzchniowo czynne. Metodyka ta jest zalecana do określania indeksu oleju mineralnego w wodach powierzchniowych i ściekach. Stężenie oleju mineralnego oblicza się względem wzorca zewnętrznego zawierającego określone dwa oleje mineralne [PN-EN ISO 9377-2]. Przykładowo zastosowanie powyższej metody opisała Poluszyńska i współpracownicy [Poluszyńska 2009]. Oznaczano stężenie olejów mineralnych i smarów. Do określenia czasów retencji badanych związków posłużono się roztworami n-dekanu i n-tektakontanu. Do ekstrakcji zastosowano heksan oraz metanol a proces prowadzono poprzez wytrąsanie ręczne i w łaźni wodnej.

Tabela 2. Dopuszczalne wartości związków ropopochodnych w wodach podziemnych µg/l [Dz. U. Nr 143 poz. 896]

Wskaźnik	Tło hydrogeochemiczne	Wartości graniczne dla klas				
		I	II	III	IV	V
Substancje ropopochodne	0	10	100	300	5000	Powyżej 5000
Benzen	0	1	5	10	100	Powyżej 100
BTX	0	5	30	100	100	Powyżej 100
Benzo(a)piren	0,001 – 0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	Powyżej 0,05
WWA	0,001 – 0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	Powyżej 0,5



Ekstrakt osuszano bezwodnym siarczanem sodu, za-  
 tężano w strumieniu azotu,  
 a następnie analizowano  
 chromatograficznie w ukła-  
 dzie GC-FID. W celu weryfika-  
 cji przyjętej procedury wyzna-  
 czono wartości odzysku, które  
 zależały od stężenia początko-  
 wego i temperatury ekstrak-  
 cji. Wartości odzysku zawarły  
 się w zakresie od 21 do 84%  
 [Poluszyńska 2009]. Badow-  
 ska i Gryglik natomiast spraw-  
 dzały jaki wpływ na wartość  
 indeksu oleju mineralnego ma  
 zakwaszenie próbki na etapie  
 jej przygotowania do analizy  
 oraz jej oczyszczanie na Flori-  
 silu [Badowska, Gryglik 2012].  
 Wyniki tych badań wykazały,  
 że zakwaszenie próbki ma  
 wpływ na wynik analizy mimo  
 tego, że w normie jest dowol-  
 ność w jej stosowaniu. Otrzy-  
 mane chromatografy różniły  
 się zarówno ilością pików jak  
 i ich wysokością. Mimo tego,  
 wartość odzysku była na  
 poziomie 83% czyli mieści-  
 ła się w zakresie zalecanym  
 (80 – 100%) [Badowska, Gry-  
 glik 2012].

Również w badaniach moni-  
 toringowych do oznaczania  
 indeksu oleju mineralnego  
 metodyką referencyjną jest  
 chromatografia gazowa i wy-  
 mieniona wyżej w Polskiej  
 Normie PN-EN ISO 9377-2.  
 W przypadku benzenu oraz  
 węglowodorów BTX wymie-  
 nia się jednak dwie moż-  
 liwości. Jedną z nich jest  
 chromatografia gazowa ze  
 spektrometrem mas czyli GC-  
 MS, a zalecaną procedurą  
 jest PN-ISO-11423-1. Drugą  
 natomiast – chromatogra-  
 fia gazowa z zastosowaniem  
 techniki wyplukiwań i wyła-

pywania oraz desorpcji ter-  
 micznej GC-MS P&T zgodnie  
 z PN-EN ISO 15680. W przy-  
 padku WWA takich jak benzo-  
 (a)piren, benzo(b)fluoranten,  
 benzo(ghi)erylen oraz inde-  
 no(123cd)piren metodyką re-  
 ferencyjną jest wysokospra-  
 wna chromatografia cieczowa  
 HPLC lub GC-MS lub UPLC.  
 W przypadku HPLC należy od-  
 wołać się do normy PN-EN ISO  
 17993, dla pozostałych metod  
 natomiast nie podaje się kon-  
 kretnej normy. Z kolei nafta-  
 len zaleca się oznaczać techni-  
 ką HPLC czyli zgodnie z PN-EN  
 ISO 17993 lub tak jak benzen  
 zgodnie z PN-EN ISO 15680.  
 Fluoranten z grupy wielopier-  
 ścieniowych węglowodorów  
 aromatycznych powinno się  
 oznaczać jedynie techniką  
 HPLC czyli zgodnie z PN-EN  
 ISO 17993 [Dz. U. 2011, Nr 258,  
 poz.1550].

### **Wpływ związków ropo- pochodnych na środowisko wodne**

Jak już pisano, związki ropo-  
 pochodne w środowisku wod-  
 nym tworzą rozlewiska, które  
 rozprzestrzeniają się i dryfują.  
 Zasięg oddziaływania na śro-  
 dowisko zależy od rodzaju  
 związków ropopochodnych,  
 czasu występowania rozlewi-  
 ska oraz prędkości rozprze-  
 strzelenia. Na powierzchni  
 wody tworzy się film o gru-  
 bości od  $10^{-7}$  m do  $10^{-5}$  m.  
 Przykładowo, 40 kg oleju  
 może stworzyć rozlewisko na  
 powierzchni  $1 \text{ km}^2$  i grubości  
 $0,05 \text{ }\mu\text{m}$ . Film substancji ro-  
 popochodnych utrudnia wy-  
 mianę gazową, głównie tlenu  
 między wodą a atmosferą,  
 wpływa na ograniczenie prze-  
 biegu procesu fotosyntezy

oraz wzrost temperatury  
 wody wskutek pochłaniania  
 promieniowania słonecz-  
 nego [Gutteter-Grudziński  
 2012]. Ograniczenie dostępu  
 światła i tlenu prowadzi do  
 zmian w funkcjonowaniu or-  
 ganizmów wodnych. Niektóre  
 gatunki ryb mogą zmieniać  
 miejsce bytowania. Ograni-  
 czenie fotosyntezy wpływa  
 destrukcyjnie na rozwój ro-  
 ślin. Związki ropopochodne są  
 także kumulowane w organi-  
 zmach wodnych co prowadzi  
 do zaburzeń metabolicznych.  
 Wnikanie składników ropo-  
 pochodnych do organizmów  
 stanowiących ogniwo w łań-  
 cuchu pokarmowym stwarza  
 zagrożenie dla człowieka.  
 Ponadto rozlewiska są nie-  
 bezpieczne dla ptaków oraz  
 organizmów wyższych bytu-  
 jących w środowisku wodnym.  
 W przypadku zanieczyszczenia  
 wód przybrzeżnych, związki  
 ropopochodne mogą migro-  
 wać w głąb łądu, co z kolei  
 niekorzystnie wpływa na te-  
 reny łęgowe i ogranicza lub  
 uniemożliwia wykorzystanie  
 plaż do celów rekreacyjnych.  
 Jak już wspomniano badania  
 toksykologiczne potwierdzi-  
 ły toksyczne oddziaływanie  
 zarówno WWA jak i BTX na  
 organizmy wodne. Związki te  
 bowiem wykazują działanie  
 rakotwórcze i mutagenne [Ra-  
 kowska i inni 2012, Piotrowski  
 2006].

### **Usuwanie rozlewisk zwią- zków ropopochodnych z wód**

Do usuwania związków ropo-  
 pochodnych z powierzchni  
 wody stosowane są następu-  
 jące sposoby: zbieranie, dysper-  
 gowanie, spalanie oraz zata-  
 pianie. Najbardziej bezpieczną

metodą unieszkodliwiania  
 rozlewisk jest zbieranie. Do  
 tego celu stosowane są zapory  
 sztywne (pomostowe) lub ela-  
 styczne (płaszczowe, pneuma-  
 tyczne) oraz zbieracze olejowe.  
 Wśród zbieraczy wymienia się  
 przelewowo-pompowe, sorp-  
 cyjne i adhezyjne. Końcowym  
 etapem jest usuwanie pozosta-  
 łości ropopochodnych z wyko-  
 rzystaniem zapór sorpcyjnych  
 lub materiałów sorpcyjnych.  
 Stosowane są sorbenty synte-  
 tyczne lub naturalne (np. sło-  
 ma, liście, wióry drewniane).  
 Sorbenty powinny charakte-  
 ryzować się następującymi ce-  
 chami:

- dobrą zdolnością sorpcyjną  
 dla związków ropopochod-  
 nych,
- odpowiednią porowatością  
 zapewniającą wnikanie ropo-  
 pochodnych i ich zatrzymanie  
 (bez wycieków w czasie wzro-  
 stu temperatury czy podczas  
 przenoszenia zużytego sor-  
 bentu),
- możliwością regeneracji  
 poprzez odzysk zebranych  
 substancji lub utylizacji zuży-  
 tego materiału,
- hydrofobowością i ciężarze  
 właściwym uniemożliwiają-  
 cym unoszenie przez wiatr.

Dyspergowanie polega na za-  
 stosowaniu środków powierzch-  
 niowo czynnych, które zmniejs-  
 zając napięcie powierzchniowe  
 powodują powstawanie mi-  
 krokropel ułatwiających dostęp  
 światła i tlenu do wody. Umoż-  
 liwia to rozwój mikroorgani-  
 zmów zdolnych do rozkładu  
 związków ropopochodnych  
 czyli pośrednio przyspiesza  
 biodegradację. Zatapianie  
 polega na zastosowaniu ob-  
 ciężników takich jak piasek,  
 żwir czy gips, które powodują



zwiększenie ciężaru właściwego związków ropopochodnych i ich sedimentację. Metoda ta jednak nie powinna być stosowana z uwagi na to, że związki te gromadzą się w warstwie przydennej, zalegają w wodach i mogą powodować wtórne zanieczyszczenie. Kontrowersyjna jest również metoda spalania dlatego jej zastosowanie powinno być stosowane jedynie w przypadku braku możliwości wykorzystania innych metod [Hupka 1985, [www.sebekfireman.host247.pl](http://www.sebekfireman.host247.pl)].

#### Podsumowanie

Substancje ropopochodne są mieszaniną wielu węglowodorów o zróżnicowanej budowie, spośród których część wykazuje działanie toksyczne na organizmy. W przypadku zanieczyszczenia środowiska wodnego związki te mogą wnikać do organizmów wodnych oraz niekorzystnie wpływać na wymianę gazową i hamować proces fotosyntezy. Dlatego istotne jest podejmowanie działań zmierzających do ograniczenia emisji tych związków do środowiska wodnego (oczyszczanie ścieków) oraz do szybkiego usuwania ewentualnych rozlewisk w przypadku niekontrolowanego zanieczyszczenia. W drugim przypadku podstawowym działaniem jest ograniczenie rozprzestrzeniania się plamy substancji ropopochodnych na powierzchni wody oraz zbieranie, dyspergowanie, spalanie czy zatapianie. Dużą

rolę odgrywają tutaj sorbenty, których pojemność sorpcyjna i możliwość regeneracji (odzysku ropopochodnych) oraz dostępność uważane są za najważniejsze kryteria zastosowania.

#### Literatura

- [1] Badowska E., Gryglik D., Wpływ metodyki przygotowania próbek na oznaczanie indeksu oleju mineralnego zgodnie z normą PN-EN-ISO 9377-2, [www.eko-dok.pl/2012/04.pdf](http://www.eko-dok.pl/2012/04.pdf)
- [2] Badowska E., Zawartość substancji ropopochodnych w ściekach systemu kanalizacji ogólnospławnej [www.eko-dok.pl/2013/01.pdf](http://www.eko-dok.pl/2013/01.pdf)
- [3] Dz. U. Nr 143, poz. 896, Roporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 lipca 2008 w sprawie kryteriów i sposobu ich oceny stanu wód podziemnych
- [4] Dz. U. Nr 258, poz.1550, Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 15 listopada 2011 r. w sprawie form i sposobu prowadzenia monitoringu jednolitych części wód powierzchniowych i podziemnych
- [5] Dz. U. 2014, poz. 1482, Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22 października 2014 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych
- [6] Gutteter-Grudziński J. M. Studium efektywności odolewania okrętowych wód zęzowych z wykorzystaniem sekcji

hydrocyklonów i koalescencyjnych przegród porowatych, Wydawnictwo Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, Szczecin 2012

- [7] Hupka J., Mydlarczyk S., Andrzejewski L., Ciecholewski A., Sposób likwidacji rozlewów olejowych, zwłaszcza na powierzchni wody oraz element zaporowy do likwidacji rozlewów olejowych na powierzchni wody, Politechnika Gdańska, 1985, Patent 130812
- [8] Mrowiec B. Wpływ wybranych węglowodorów aromatycznych (BTX) na oczyszczanie ścieków, Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN, Zabrze 2012
- [9] Piotrowski J.K. i inni., Podstawy toksykologii, WNT Warszawa 2006
- [10] PN-EN ISO 9377-2/2003-Jakość wody, Oznaczanie indeksu oleju mineralnego, Cz.2: Metoda z zastosowaniem ekstrakcji rozpuszczalnikiem i chromatografii gazowej
- [11] Podniało A., Paliwa, oleje i smary w ekologicznej eksploatacji, WNT Warszawa 2002
- [12] Poluszyńska J., Bożym M., Sławińska I., Dwojak J., Prace Instytutu Szkła, Ceramiki, Materiałów ogniotrwałych i Budowlanych, Wydawnictwo Instytut Śląski sp.z.o.o, Opole, Nr 3, 2009, 131-140
- [13] Rakowska J., Radwan K., Śłosorz Z., Pietraszek E., Łudzik M., Suchorab P., Usuwanie substancji ropopochodnych z dróg i gruntów, Wydawnictwo Centrum Na-

ukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpożarowej, Państwowy Instytut Badawczy, Józefów 2012

- [14] Rup K. Porcesy przeniesienia zanieczyszczeń w środowisku naturalnym, WNT Warszawa 2006
- [15] Siebielska I., Szymański K., Wpływ pracy separatorów na usuwanie wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) z wód opadowych i roztopowych, Rocznik Ochrona Środowiska, 15, 2013, 749-765
- [16] Siemiński M., Środowiskowe zagrożenie środowiska, PWN, Warszawa 2008
- [17] Siuta J., Ekologiczne, technologiczne i prawne aspekty rekultywacji gruntów zanieczyszczonych produktami ropy naftowej, Inżynieria Ekologiczna Nr 8, Warszawa 2003
- [18] Syrugala J. i inni., Vademecum rafinera, WNT, Warszawa 2006
- [19] Wiatr I., Marczak H., Sawa J., Podstawy działań naprawczych w środowisku, Wydawnictwo Naukowe G. Borowski, Lublin 2003
- [20] [www.sebekfireman.host247.pl](http://www.sebekfireman.host247.pl)
- [21] Zieńko J., Karakulski K., Substancje ropopochodne w środowisku przyrodniczym, Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej, Szczecin, 1997
- \* *Katedra Chemii, Technologii Wody i Ścieków, Wydział Inżynierii Środowiska i Biotechnologii, Politechnika Częstochowska; e-mail: [mwm@is.pcz.czest.pl](mailto:mwm@is.pcz.czest.pl)*