

Wpływ nanomateriałów stosowanych w przemyśle naftowym i gazowniczym na środowisko

The environmental impact of nanomaterials used in the oil and gas industry

Monika Gajec, Ewa Kukulska-Zajęc, Anna Król, Marta Dobrzańska

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

STRESZCZENIE: W ostatnich latach obserwowany jest stały wzrost wykorzystania nanomateriałów w produkcji przemysłowej. Są one również szeroko stosowane w przemyśle naftowym i gazowniczym, w niemal całym łańcuchu dostaw, a więc w zakresie poszukiwań, wierceń, produkcji, a także procesów rafineryjnych. Nanotechnologia znalazła zastosowanie m.in. w płynach wiertniczych i płynach do szczelinowania, cementowaniu szybów naftowych, intensyfikacji wydobywania ropy, zapobieganiu korozji, wykrywaniu węglowodorów, uwalnianiu metanu z hydratów gazowych i zmniejszaniu oporów przepływu w mediach porowatych. Ciągły wzrost zapotrzebowania na nanomateriały oraz zwiększenie ich produkcji prowadzi jednak do wzrostu emisji nanocząstek do środowiska (woda, gleba, powietrze). Nanomateriały nie są obojętne dla środowiska i zdrowia człowieka, a ich coraz powszechniejsze zastosowanie może stanowić zagrożenie. Aby ocenić wpływ nanotechnologii na zdrowie ludzi i środowisko, konieczne jest określenie obecnych i przyszłych źródeł uwalniania, a także ilości nanomateriałów, które mogą przedostać się do środowiska. Istotne jest również opracowanie skutecznych metod, które pozwolą na monitorowanie zawartości nanomateriałów i rozkładu wielkości ich cząstek w różnych elementach środowiska. Do tego celu może służyć spektrometria mas z plazmą indukcyjnie sprzężoną oraz modulem pojedynczej cząstki (spICP-MS). Ta zaawansowana technika analityczna po odpowiednim przygotowaniu próbki do badań i separacji z matrycy nanocząstek może stanowić skuteczny sposób ich charakterystyki oraz określenia wielkości cząstek. W artykule przedstawiono zastosowanie nanomateriałów w przemyśle naftowym i gazowniczym, opisano wyniki przeglądu obowiązujących aktów prawnych w zakresie wykorzystywania nanomateriałów oraz scharakteryzowano występowanie nanomateriałów w środowisku. Zaprezentowano także przykładowe wyniki badań wyznaczania rozkładu wielkości nanocząstek srebra otrzymane dla próbek środowiskowych różnego typu za pomocą metody spICP-MS. Badania zostały przeprowadzone w Zakładzie Ochrony Środowiska Instytutu Nafty i Gazu – Państwowego Instytutu Badawczego i wykazały, że nanocząstki metali są obecne w próbkach środowiskowych, takich jak odpady wiertnicze czy wody powierzchniowe, w dość szerokim zakresie stężeń i średnic cząstek.

Słowa kluczowe: nanomateriały, nanocząstki srebra, nanoodpady, spektrometria mas z plazmą sprzężoną indukcyjnie.

ABSTRACT: In recent years, there has been a steady increase in the use of nanomaterials in industrial production. Nanomaterials are also widely used in the oil and gas industry, both upstream and downstream, including exploration, drilling, production as well as refining processes. Nanotechnology has been used, among others, in drilling and hydraulic fluids, cementing oil wells, enhanced oil recovery, preventing corrosion, detecting hydrocarbons, releasing methane from gaseous hydrates, and reducing flow resistance in porous media. Continuous growth in the demand for nanomaterials and in their production leads to an increase in the emission of nanoparticles to the environment (water, soil, air). Nanomaterials are not indifferent to the environment and human health, and their growing use may pose a threat to the environment. To determine the impact of nanotechnology on human health and environmental quality, it is necessary to identify the current and future sources and amounts of nanomaterials that will be released into the environment. It is also important to develop effective methods that will allow nanoparticles to be monitored in various elements of the environment. For this purpose, mass spectrometry with inductively coupled plasma and a single particle module (spICP-MS) can be used. After appropriate preparation of the sample for testing and separation of nanoparticles from the matrix, this advanced analytical technique can serve as a reliable method for particle size characterization. The article presents an overview of the applicable legal acts in the field of nanomaterials, a brief description of the use of nanomaterials in the oil and gas industry, as well as exemplary test results for determining the size distribution of silver nanoparticles obtained for various types of environmental samples using the above-mentioned method. The research was carried out at the Department of Environmental Protection of the Oil and Gas Institute – National Research Institute and showed that metal nanoparticles were present in environmental samples, such as drilling waste or surface water, in a fairly wide range of concentrations and particle diameters.

Key words: nanomaterials, silver nanoparticles, nanowaste, inductively induced plasma mass spectrometry.

Autor do korespondencji: M. Gajec, e-mail: monika.gajec@inig.pl

Artykuł nadesłano do Redakcji: 28.09.2021 r. Zatwierdzono do druku: 10.12.2021 r.

Zastosowanie nanomateriałów w przemyśle naftowym i gazowniczym

Unikalne właściwości fizyczne i chemiczne nanomateriałów doprowadziły do ich zastosowania w przemyśle naftowym i gazowniczym w niemal całym łańcuchu dostaw, w tym w zakresie poszukiwań, wierceń, produkcji i wydobycia (intensyfikacji wydobycia ropy – ang. *enhanced oil recovery*, EOR), rafinacji oraz przetwarzania. Zastosowanie nanomateriałów zapewnia szeroką gamę możliwych rozwiązań alternatywnych dla technologii i materiałów stosowanych w przemyśle naftowym i gazowniczym. Nanomateriały charakteryzują się wyższą wytrzymałością, niską gęstością i wysoką odpornością na korozję, co zapewnia zwiększoną wydajność oraz niezawodność urządzeń wiertniczych. Materiały nanostrukturalne

są wykorzystywane również do transportu sprężonego gazu ziemnego, natomiast nanopowłoki i nanomembrany znalazły zastosowanie na etapach rafinacji do oddzielania strumieni gazu lub usuwania zanieczyszczeń (Kołodziejczyk, 2016). Przykłady zastosowań nanomateriałów w przemyśle naftowym i gazowniczym zostały zebrane w tabeli 1.

Przykłady przedstawione w tabeli 1 potwierdzają, że nanomateriały są wykorzystywane w przemyśle naftowym i gazowniczym na szeroką skalę. Należy jednak zwrócić uwagę, że nie są one obojętne dla środowiska i zdrowia człowieka, a ich coraz powszechniejsze stosowanie może stanowić zagrożenie dla środowiska. Na przykład nanocząstki tlenku miedzi (o średnicy 50 nm) są geno- i cytotoksyczne, a także zaburzają integralność błony komórkowej oraz wywołują stres oksydacyjny. Natomiast przewlekła ekspozycja na nanocząstki tlenku cynku (o stężeniu

Tabela 1. Przykłady zastosowania nanomateriałów w przemyśle naftowym i gazowniczym

Table 1. Examples of applications of nanomaterials in the oil and gas industry

Obszar zastosowania	Nanomateriał	Cel zastosowania	Literatura
Poszukiwanie	nanocząstki krzemu	stosowane do pomiarów i obrazowania podczas poszukiwań ropy naftowej	Agista et al., 2018
	powlekana struktura nanowęglowa	ocena zbiornika ropy w czasie rzeczywistym z dwuwymiarową technologią wykrywania	Agista et al., 2018
	nanocząstki magnetyczne	mapowanie i charakterystyka złoża	Kotsmar et al., 2010 Ryoo et al., 2012
Wiercenie	nanocząstki MgO i ZnO	poprawa stabilności termicznej płuczki wiertniczej	Agista et al., 2018
	nanocząstki CuO	zwiększenie sprawności cieczy zabiegowej, co związane jest z obniżeniem ciśnienia kapilarnego i lepszymi właściwościami zwilżania	Wilk et al., 2014
	nanogлина	poprawa właściwości filtracyjnych, zmniejszenie oporu elektrycznego	Katende et al., 2019
	nanocząstki krzemionki i tlenku glinu	dodatek do cementu poprawiający jego właściwości	Rzepka i Kędzierski, 2019 Rzepka i Kędzierski, 2020
	wielościennie nanorurki węglowe, nanocząstki tlenku cynku, nanocząstki dwutlenku krzemu	poprawa wymiany ciepła, poprawa właściwości reologicznych płuczki	Hassani et al., 2016
	nanocząstki dwutlenku krzemu	poprawa stabilności odwiertu	Yang et al., 2017
	nanocząstki tlenku miedzi	poprawa stabilności otworu	Kumar et al., 2018
Produkcja i wydobycie	nanocząstki tlenku magnezu, nanocząstki tlenku glinu, nanocząstki tlenku cynku, nanocząstki tlenku cyrkonu, nanocząstki tlenku cyny, nanocząstki tlenku żelaza, nanocząstki tlenku niklu, nanocząstki dwutlenku krzemu	zmiana zwilżalności, zmniejszenie napięcia międzyfazowego, zmniejszenie lepkości ropy, zmniejszenie współczynnika mobilności, zmiana przepuszczalności	Ogolo et al., 2012 Agista et al., 2018
	nanomateriały na bazie tlenków metali	poprawa stabilności i lepkości płynu szczelinującego	Agista et al., 2018
	nanocząstki dwutlenku krzemu	poprawa właściwości płynu szczelinującego	Wu et al., 2018
	nanocząstki tlenku cynku, nanocząstki tlenku miedzi, nanocząstki tlenku glinu	poprawa właściwości środków smarowych	Krasodomski et al., 2013

cd. Tabela 1 / cont. Table 1

Obszar zastosowania	Nanomaterial	Cel zastosowania	Literatura
Refinacja	nanofiltry	usuwanie szkodliwych toksycznych substancji (takich jak tlenki azotu, tlenki siarki, kwasy i bezwodniki kwasowe) oraz rtęci z gleby i wody	El-Diasty i Ragab, 2013
	nanomembrany	stosowany do lepszej separacji strumieni gazów i usuwania zanieczyszczeń z ropy	El-Diasty i Ragab, 2013
	nanocząstki dwutlenku tytanu	stosowany do uzdatniania wody, redukuje zjawisko porastania	Sotto et al., 2011
	nanocząstki TiO ₂ , ZrO ₂ , SiO ₂	dodatek do stabilizacji asfaltenów w ropie w środowisku kwaśnym	Mohammadi et al., 2011

300 mg/kg) powoduje oksydacyjne uszkodzenie DNA oraz ma wpływ na enzymy wątroby (Bahadar et al., 2016). Kolejnym przykładem jest srebro, którego nanocząstki nawet w bardzo niskich stężeniach wykazują właściwości antybakteryjne, a także uszkadzają błonę komórkową i DNA. Obecność nanocząstek srebra w organizmie może również zaburzać zdolność do namnażania komórek, co powoduje ich obumieranie lub niekontrolowany wzrost (Prabhu i Poulouse, 2012).

Ponadto w wyniku rosnącego zapotrzebowania na nanomateriały oraz zwiększonej produkcji dóbr konsumenckich zawierających nanocząstki nieunikniony jest w najbliższej przyszłości wzrost stężenia tych materiałów w strumieniu odpadów. Ta nowa grupa odpadów nosi nazwę nanoodpadów.

Regulacje prawne dotyczące nanomateriałów

Unikatowe właściwości biologiczne, fizyczne, chemiczne i mechaniczne nanomateriałów zapewniają ich komercjalizację. Jednak nanocząstki mogą być bardziej toksyczne i odporniejsze niż ich struktury w skali mikro i makro, mogą też mieć negatywny wpływ na zdrowie ludzi i środowisko oraz stwarzać poważne zagrożenia w związku z brakiem odpowiednich regulacji prawnych związanych z zagospodarowaniem powstających nanoodpadów.

Definicja nanomateriału została wprowadzona do porządku prawnego w 2011 r. na podstawie zalecenia Komisji Europejskiej. Definicja ta jest stosowana w różnych rozporządzeniach europejskich w celu zharmonizowania sposobu definiowania nanomateriałów w różnych ramach prawnych. Zdefiniowanie nanomateriału było początkiem zmian w prawie związanych z bezpiecznym wykorzystywaniem nanotechnologii. Jednym z najistotniejszych dokumentów regulujących stosowanie nanomateriałów jest Rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 grudnia 2006 r. w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów

(REACH) i utworzenia Europejskiej Agencji Chemikaliów, zmieniające dyrektywę 1999/45/WE oraz uchylające rozporządzenie Rady (EWG) nr 793/93 i rozporządzenie Komisji (WE) nr 1488/94, jak również dyrektywę Rady 76/769/EWG i dyrektywy Komisji 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/WE i 2000/21/WE (REACH). Określa ono zasady wprowadzania na rynek UE substancji chemicznych. Zawiera wytyczne dotyczące nanomateriałów w zakresie m.in. identyfikacji i klasyfikacji takich substancji. Od 1 stycznia 2020 r. obowiązują nowe wytyczne do rejestracji nanomateriałów. Producenci oraz importerzy nanomateriałów są zobowiązani do zaktualizowania danych w swoich dokumentach rejestracyjnych zgodnie z rozporządzeniem (REACH) w odniesieniu do załączników I, III, VI, VII, VIII, IX, X, XI i XII w celu uwzględnienia substancji w zakresie nanometrycznym. Zmiany zostały wprowadzone po to, aby zapewnić kompletność dostarczanych informacji przez dostawców oraz zagwarantować bezpieczeństwo ludzi i środowiska w trakcie stosowania nanomateriałów. Wprowadzone zmiany powinny być stosowane w przypadku wszystkich nowych i już istniejących rejestracji nanomateriałów.

Regulacje prawne EU odnoszące się do nanomateriałów zostały krótko scharakteryzowane i opisane w tabeli 2.

Pomimo dość dużej liczby aktów prawnych dotyczących nanomateriałów (tab. 2) nadal brakuje regulacji prawnych w zakresie zapewnienia ochrony środowiska w aspekcie zastosowań nanotechnologii.

W obszarze ochrony środowiska funkcjonują wprowadzone regulacje prawne, takie jak chociażby Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE z dnia 24 listopada 2010 r. w sprawie emisji przemysłowych (zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola), Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej oraz Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów, jednak nie odnoszą się one obecnie bezpośrednio do nanomateriałów.

Tabela 2. Europejskie regulacje prawne, którym podlegają nanomateriały**Table 2.** European legal regulations governing nanomaterials

Dokument normatywny	Krótka charakterystyka
<p>REACH Rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 grudnia 2006 r. w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów i utworzenia Europejskiej Agencji Chemikaliów</p>	<p>REACH ustanawia procedury gromadzenia i oceny informacji o właściwościach i zagrożeniach związanych z substancjami. Jest to dyrektywa Unii Europejskiej (UE), która została wdrożona w celu poprawy ochrony zdrowia ludzi i środowiska przed zagrożeniami związanymi z chemikaliami. Dotyczy ona wszystkich chemikaliów, w tym chemii przemysłowej i codziennego użytku, a także chemikaliów zawierających nanocząstki.</p>
<p>Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1272/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania substancji i mieszanin (CLP), zmieniające i uchylające dyrektywy 67/548/EWG i 1999/45/WE oraz zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 (Rozporządzenie z dnia 16 grudnia 2008 r.)</p>	<p>Zgodnie z tym rozporządzeniem wytwórcy, importerzy lub dalsi użytkownicy substancji albo mieszanin mają obowiązek klasyfikowania, oznakowania i pakowania w odpowiedni sposób niebezpiecznych substancji chemicznych przed wprowadzeniem ich do obrotu. Obowiązek ten dotyczy także substancji i mieszanin zawierających nanocząstki.</p>
<p>Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 528/2012 z dnia 22 maja 2012 r. w sprawie udostępniania na rynku i stosowania produktów biobójczych (Rozporządzenie z dnia 22 maja 2012)</p>	<p>Celem rozporządzenia jest poprawa swobodnego przepływu produktów biobójczych w Unii, w tym preparatów zawierających nanocząstki, przy jednoczesnym zapewnieniu wysokiego poziomu ochrony zarówno zdrowia ludzi, jak i zdrowia zwierząt oraz ochrony środowiska. W rozporządzeniu zawarto szczegółowe postanowienia dotyczące nanomateriałów. Postanowienia dotyczą substancji czynnych i substancji niebędących substancjami czynnymi, które wykazują następujące cechy: co najmniej 50% cząstek ma wielkość od 1 do 100 nm w co najmniej jednym wymiarze oraz cząstki występują w stanie swobodnym lub w formie agregatu bądź aglomeratu. W przypadku stosowania w produktach biobójczych substancji czynnych i substancji niebędących substancjami czynnymi w nanoskali potrzebna jest odrębna ocena ryzyka. Na etykiecie produktu biobójczego należy umieścić nazwy poszczególnych nanomateriałów ze słowem „nano” w nawiasie po każdym z nich. Produkty zawierające nanomateriały są wyłączone z uproszczonej procedury udzielania zezwoleń.</p>
<p>Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1223/2009 z dnia 30 listopada 2009 r. dotyczące produktów kosmetycznych (Rozporządzenie z dnia 30 listopada 2009 r.)</p>	<p>Dokument określa kwestię odpowiedzialności producentów i dystrybutorów produktów kosmetycznych. We wspomnianym akcie prawnym zostały poruszone zagadnienia związane z oznakowaniem oraz zgłaszaniem informacji Komisji drogą elektroniczną na 6 miesięcy przed wprowadzeniem do obrotu produktów zawierających nanocząstki. W rozporządzeniu z dnia 30 listopada 2009 r. zdefiniowano nanomateriał (art. 2), co pozwala producentom kosmetyków, a także dostawcom surowców na podstawie tej definicji jasno ocenić, czy ich produkt powinien być zakwalifikowany do tej klasy.</p>
<p>Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 2015/2283 z dnia 25 listopada 2015 r. w sprawie nowej żywności (Rozporządzenie z dnia 25 listopada 2015 r.)</p>	<p>Dokument określa zasady wykorzystania nanomateriałów oraz ocenia ich bezpieczeństwo w zastosowaniach spożywczych.</p>
<p>Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1333/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. w sprawie dodatków do żywności (Rozporządzenie z dnia 16 grudnia 2008 r.)</p>	<p>Obejmuje swoją regulacją dodatki do żywności, które są przygotowywane przy użyciu nanotechnologii.</p>
<p>Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 2017/745 z dnia 5 kwietnia 2017 r. w sprawie wyrobów medycznych (Rozporządzenie z dnia 5 kwietnia 2017 r.)</p>	<p>Dokument w art. 2 pkt 18 definiuje nanomateriały. Ponadto zaleca, aby wyroby medyczne były projektowane i produkowane w taki sposób, by w możliwie największym stopniu ograniczyć ryzyko związane z rozmiarem i właściwościami cząstek, które mogą być uwalniane do ciała pacjenta lub użytkownika – dotyczy to zwłaszcza nanomateriałów.</p>
<p>Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1007/2011 z dnia 27 września 2011 r. w sprawie nazewnictwa włókien tekstylnych oraz etykietowania i oznakowywania składu surowcowego wyrobów włókienniczych (Rozporządzenie z dnia 27 września 2011 r.)</p>	<p>Rozporządzenie określa zapewnienie bezpiecznego stosowania nanomateriałów w odzieży i tekstyliach. Zwiększenie świadomości konsumentów w zakresie właściwości nanomateriałów powinno odbywać się poprzez odpowiednie etykietowanie nanomateriałów oraz szczegółowe opisy nanoproductów, również na stronach internetowych. Takie działania powinny zwiększyć wiedzę konsumentów na temat właściwości nanomateriałów, tak aby decyzja o zakupie nanoproductów była dobrze przemyślana i świadoma.</p>
<p>Rozporządzenie Komisji (WE) nr 10/2011 z dnia 14 stycznia 2011 r. w sprawie materiałów i wyrobów z tworzyw sztucznych przeznaczonych do kontaktu z żywnością (Rozporządzenie z dnia 14 stycznia 2011 r.)</p>	<p>Rozporządzenie określa regulacje prawne dotyczące produkcji i wprowadzania do obrotu materiałów i wyrobów z tworzyw polimerowych przeznaczonych do kontaktu z żywnością, w tym szczegółowe wymogi odnoszące się do substancji w postaci nanomateriału stosowanych w produkcji materiałów i wyrobów z tworzyw polimerowych.</p>

W treści dyrektywy z dnia 23 października 2000 r. konieczne byłoby uwzględnienie niebezpiecznych nanomateriałów w wykazie priorytetowych substancji stwarzających szczególnie niebezpieczeństwo dla środowiska wodnego. Konieczne jest także ustalenie oddzielnej pozycji dla nanomateriałów w wykazie odpadów zawierających nanomateriały oraz zmiana kryteriów przyjęcia takich odpadów na składowiska. Regulacje prawne dotyczące nanomateriałów powinny wziąć pod uwagę również nanomateriały wytwarzane jako niezamierzone produkty uboczne powstające w procesach spalania, które są źródłem emisji bardzo drobnych cząstek (poniżej 2,5 µm) do powietrza (Baran, 2015). Regulacje prawne odnoszące się do nanomateriałów wymagają również uzupełnienia o środowiskowe dopuszczalne stężenia graniczne nanomateriałów – co może wymagać wyrażenia stężenia w wielu wskaźnikach i jednostkach. Brak odpowiednich regulacji dotyczących nanomateriałów zasługuje zatem na szczególną uwagę – zwłaszcza w dobie rosnącej akumulacji nanomateriałów w różnych elementach środowiska. Wprowadzenie odpowiednich przepisów prawnych wymagać będzie przeprowadzenia ukierunkowanych badań i sprawdzenia, na ile obowiązujące metody pomiaru zanieczyszczeń w środowisku mają zastosowanie w kontekście nanomateriałów oraz nanoodpadów i jakie ich modyfikacje są niezbędne.

Nanomateriały w środowisku

Drogi przedostawania się nanocząstek do środowiska naturalnego są bardzo zróżnicowane i często nie w pełni scharakteryzowane. Nanomateriały są celowo lub nieumyślnie uwalniane do mediów środowiskowych podczas cyklu życia produktów konsumenckich. Mogą przedostać się do środowiska na wiele sposobów – jako emisje ze źródeł punktowych, takie jak emisje z instalacji przemysłowych lub z oczyszczalni ścieków, oraz emisje ze źródeł rozproszonych. Punktowe źródła emisji nanomateriałów mogą obejmować emisje przemysłowe do powietrza, wody i gleby, ścieki uwalniane do wód powierzchniowych z oczyszczalni ścieków komunalnych, jak również emisje do powietrza z placów budowy. Przykłady rozproszonych źródeł emisji obejmują wymywanie nanomateriałów do wód gruntowych, a następnie do wód powierzchniowych ze składowisk odpadów, spływ z gruntów rolnych pestycydów zawierających nanomateriały, a także np. rozlane smary, które są splukiwane z dróg do zrzutów wód opadowych (Hansen, 2018). Uwolnienie nanomateriałów do wody może nastąpić w trakcie recyklingu lub podczas długotrwałego składowania na składowiskach, gdzie woda deszczowa nie jest gromadzona lub całkowicie zatrzymywana. Ponadto uwolnione nanomateriały mogą przenikać do gleby. Nanocząstki mogą także zostać

uwolnione do środowiska w wyniku stosowania środków czystości zawierających np. nanocząstki srebra (nano Ag). Mogą również przedostać się do środowiska wraz z deszczem i spływem z elewacji budynków farb zawierających np. nanocząsteczki tytanu (TiO₂) lub w wyniku spalania paliwa do silników Diesla. Kolejnym sposobem uwalniania nanocząstek do środowiska jest stosowanie środków ochrony roślin zawierających nanocząstki w celach poprawy plonów czy ochrony przed szkodnikami i chorobami (Maciąg i Maciąg, 2018).

Nanocząstki mogą być także uwalniane do środowiska jako nanoodpady podczas prac badawczych oraz opracowywania nowych produktów z wykorzystaniem nanotechnologii. Pomimo iż opracowywanie nowych nanomateriałów jest traktowane priorytetowo, zdecydowanie brakuje informacji o ilości nanoodpadów powstających podczas produkcji nowych materiałów. Szerokie rozpowszechnienie zastosowań nanotechnologii bardzo utrudnia prawdziwe oszacowanie ilości generowanych nanoodpadów. Sprzyja temu brak międzynarodowej klasyfikacji nanoodpadów, którą można by wykorzystać do określenia poziomu ryzyka związanego z nimi, jak również uznawanie nanotechnologii za zieloną technologię w niektórych przypadkach. Brak rygorystycznych, jasno określonych zasad i przepisów dotyczących zarządzania nanoodpadami stanowi istotny problem, który powinien być w najbliższej przyszłości rozwiązany, aby zapewnić właściwe i bezpieczne postępowanie z tego typu substancjami. Podczas tworzenia zasad postępowania z nanoodpadami należy wziąć pod uwagę procedurę ich unieszkodliwiania. Jedna uniwersalna procedura nie jest jednak wystarczająca dla wszystkich rodzajów nanomateriałów ze względu na ich zróżnicowane właściwości, których poznanie jest bardzo istotne przed opracowaniem skutecznych praktyk unieszkodliwiania. Opracowane środki bezpieczeństwa, a także procedury usuwania i unieszkodliwiania niezbędne przy postępowaniu z nanoodpadami powinny opierać się na aktualnej wiedzy i uwzględniać obowiązujące przepisy. Ponadto procedury te muszą zapewniać dezaktywację niebezpiecznych właściwości odpadów (Kołodziejczyk, 2016).

Omawiając występowanie nanomateriałów w środowisku, należy dodać, że obecne systemy gospodarki odpadami są różnie zorganizowane w krajach europejskich i obejmują różne technologie, m.in. recykling, spalanie i składowanie. Nanoodpady stałe są przetwarzane przy użyciu różnych technologii w zależności od lokalnych systemów gospodarki odpadami. Utylizację nanomateriałów i produktów, w których się one znajdują, należy przeprowadzać ze szczególną starannością, aby nanomateriały nie stanowiły zagrożenia dla zdrowia ludzi i środowiska. Nanomateriały, które są niebezpieczne, toksyczne lub reaktywne chemicznie, należy zneutralizować. Tam, gdzie to możliwe, nanoodpady powinny zostać poddane recyklingowi (Kołodziejczyk, 2016). Chociaż nanotechnologia

rozwiązuje obecnie wiele wyzwań, to niewłaściwie lub nieodpowiedzialnie stosowana może mieć poważne, często nieodwracalne konsekwencje dla zdrowia ludzkiego i środowiska. Pozostające dłuższy czas w środowisku nanocząstki ulegają procesom starzenia, takim jak przemiana chemiczna, agregacja czy dezagregacja. Procesy te mogą wpływać na ich potencjał ekotoksykologiczny.

Analiza nanomateriałów

Ocena skali zagrożenia związanego z przedostawaniem się nanomateriałów do środowiska wymaga opracowania skutecznych metod analitycznych. Obecnie dostępnych jest wiele analitycznych technik pomiarowych, które dostarczają danych na temat stężeń nanomateriałów w środowisku.

W warunkach laboratoryjnych do analizy próbek powietrza i wody można zastosować metody mikroskopowe, chromatografię oraz techniki spektroskopowe (Hansen, 2018).

Metody rozpraszania światła (np. dynamiczne rozpraszanie światła (DLS), turbidymetria i dyfrakcja laserowa) są przydatne i mogą być stosowane do określania wielkości nanocząstek. Mikroskopowe metody analizy, w tym mikroskopia sił atomowych (AFM), skaningowa mikroskopia elektronowa (SEM) i transmisyjna mikroskopia elektronowa (TEM), umożliwiają badanie właściwości na poziomie pojedynczych cząstek oraz agregatów. Chromatografia hydrodynamiczna pozwala na wymiarowanie i może być, w połączeniu ze spektrometrią mas z plazmą sprzężoną indukcyjnie (inna nazwa: spektrometria mas sprzężona z plazmą wzbudzaną indukcyjnie), stosowana do wykrywania wielu pierwiastków i izotopów. Inne dostępne metody obejmują techniki frakcjonowania oraz techniki spektroskopowe. Do oznaczania nanocząstek w glebach i osadach wykorzystywane są transmisyjna mikroskopia elektronowa (TEM), jak również TEM połączona ze spektrometrią rentgenowską z dyspersją energii oraz skaningowa mikroskopia elektronowa / mikroanaliza rentgenowska z dyspersją elektronów (SEM/EDX) (Hansen, 2018; Gajec et al., 2020).

Laboratorium Analityki i Fizykochemii Wód, Ścieków i Odpadów znajdujące się w Zakładzie Ochrony Środowiska Instytutu Nafty i Gazu – Państwowego Instytutu Badawczego prowadzi badania dotyczące oznaczania nanocząstek metali i tlenków metali w próbkach środowiskowych (Gajec et al., 2020, 2021). W analizach stosowany jest spektrometr masowy z plazmą sprzężoną indukcyjnie Agilent 7900 (rys. 1). Parametry analizy spektrometru masowego stosowane w trakcie oznaczania nanocząstek srebra w próbkach środowiskowych przedstawiono w tabeli 3.

Przykładowe wyniki oznaczania rozkładu wielkości nanocząstek srebra w próbkach rzeczywistych, poddanych analizie



Rys. 1. Spektrometr masowy z plazmą sprzężoną indukcyjnie znajdujący się w Zakładzie Ochrony Środowiska INiG – PIB (fot. P. Wróbel)

Fig. 1. Inductively coupled plasma mass spectrometer located in the Department of Environmental Protection of the Oil and Gas Institute – National Research Institute (photo: P. Wróbel)

Tabela 3. Parametry analizy stosowane w czasie oznaczania nanocząstek srebra w próbkach środowiskowych za pomocą spektrometru masowego z plazmą sprzężoną indukcyjnie Agilent 7900

Table 3. Analytical parameters used during the determination of silver nanoparticles in environmental samples with inductively coupled plasma mass spectrometer Agilent 7900

Parametr (jednostka)	Wartość
Moc RF [W]	1550
Prędkość przepływu gazu nośnego [l/min]	1,05
Temperatura komory mgielnej [°C]	2,0
Prędkość pompy nebulizatora [obr./min]	0,1
Czas integracji [ms]	0,3
Czas zbierania danych [s]	60
Tryb zbierania danych	TRA
Masa monitorowana	107Ag
Gęstość cząstek [g/ml]	10,5 (Ag)
Ułamek masowy Ag	1 (Ag)

w Zakładzie Ochrony Środowiska INiG – PIB, zostały zaprezentowane w tabeli 4. Do badań wykorzystano próbki wyciągów wodnych odpadów wiertniczych o kodach 01 05 05* (*Płuczki i odpady wiertnicze zawierające ropę naftową*) oraz 01 05 06* (*Płuczki i odpady wiertnicze zawierające substancje niebezpieczne*), a także próbki wód powierzchniowych i wodę opadową. Wyciągi wodne odpadów pochodzących z działalności przemysłu nafty i gazu zostały przygotowane zgodnie z normami PN-EN 12457-2:2006 oraz PN-EN 12457-4:2006 i były przechowywane bez dostępu światła w temperaturze 2–5°C. Wcześniejsze badania dowiodły (Gajec et al., 2020), że próbki środowiskowe zawierające nanocząstki srebra wykazują stabilność w takich właśnie warunkach.

Tabela 4. Przykładowe wyniki oznaczania rozkładu wielkości nanocząstek srebra w próbkach rzeczywistych otrzymane za pomocą ICP-MS
Table 4. Exemplary results of size distribution determination of silver nanoparticles in real samples carried out with ICP-MS

Rodzaj badanej próbki	Średnia średnica cząstek AgNPs	Najczęściej występujący rozmiar cząstek	Stężenie masowe AgNPs
	[nm]	[nm]	[ng/l]
Wyciąg wodny odpadu o kodzie 01 05 05*	40	36	17,50
Wyciąg wodny odpadu o kodzie 01 05 06*	23	22	10,70
Woda powierzchniowa	77	34	2,99
Woda powierzchniowa	62	36	2,33
Woda opadowa	124	50	2,38

Zastosowany w pomiarach spektrometr masowy ICP-MS 7900 firmy Agilent wykorzystywał oprogramowanie MassHunter Workstation oraz posiadał moduł Single Particle Application – do oznaczania nanocząstek. Aparatura została ponadto wyposażona w standardowy nebulizator Micro-Mist, stożki niklowe, palnik kwarcowy (1,0 mm). Próbki były wprowadzane bezpośrednio na aparat za pomocą pompy perystaltycznej i przewodów o średnicy wewnętrznej 1,02 mm. Przed i pomiędzy analizami nanocząstek (NPs) układ wprowadzania próbki był przemywany 1-procentowym roztworem HNO₃. Aparat był strojony w dniu wykonywania analizy za pomocą roztworu do strojenia firmy Agilent (1 µg/l – Li, Co, Y, Tl, Ce, Ba w 2-procentowym roztworze HNO₃). Nie stosowano wzorca wewnętrznego.

Przedstawione w tabeli 4 wyniki pokazują, że we wszystkich próbkach stwierdzono obecność nanocząstek srebra. Zakres stężeń wynosił od 2,33 ng/l do 17,5 ng/l. Rozmiary cząstek mieściły się w niemal całym zakresie nanometrycznym, jednak najczęściej występujące cząstki miały rozmiar poniżej 50 nm. Nanocząstki o tak małych rozmiarach mogą przenikać przez błonę komórkową i stwarzać zagrożenie dla zdrowia ludzi. Zatem niezwykle istotne jest poznanie ich zawartości w poszczególnych elementach środowiska na drodze dalszych badań i analiz.

Wnioski

Duże zainteresowanie nanomateriałami wynika z ich nieograniczonych możliwości aplikacyjnych, a także z ich niezwykłych cech biologicznych, chemicznych i fizycznych. Istnieją jednak duże obawy co do potencjalnego wpływu nanomateriałów na zdrowie ludzi i środowisko. Te nowo opracowywane materiały mogą powodować nowe problemy, ujawniając nieadekwatność przede wszystkim istniejących systemów gospodarki odpadami.

Normy prawne Unii Europejskiej bardzo fragmentarycznie odnoszą się do zapewnienia ochrony środowiska w aspekcie

zastosowań nanomateriałów. Opracowanie ogólnych wytycznych może okazać się wyzwaniem, ponieważ niektóre nanomateriały lub nanocząstki mogą być szczególnie aktywne chemicznie lub toksyczne w danych warunkach środowiskowych, występujących w ściśle określonych rejonach geograficznych. Ponadto ich różnorodność i zastosowanie w wielu dziedzinach i gałęziach przemysłu również komplikuje ujednoczenie wytycznych dotyczących bezpiecznego stosowania.

Określenie wpływu nanotechnologii na zdrowie ludzi i środowiska pociąga za sobą konieczność zdefiniowania obecnych i przyszłych źródeł oraz ilości nanomateriałów, które będą uwalniane do środowiska. Należy również określić zmiany właściwości nanomateriałów od etapu produkcji do etapu unieszkodliwiania odpadów zawierających nanocząstki. W celu pozyskania tych informacji należy przeprowadzić badania skupiające się na mechanizmach transportu nanomateriałów, przemianach biochemicznych i ich zachowaniu w różnych elementach środowiska.

Wraz z rosnącym zapotrzebowaniem na nanomateriały ich akumulacja w elementach środowiska staje się coraz bardziej prawdopodobna. Konieczne jest zatem kontynuowanie prac w zakresie opracowywania skutecznych metod analizy nanocząstek w matrycach środowiskowych, które często mają skomplikowany i nieznaną skład, takich jak np. odpady wiertnicze. Jak pokazały przeprowadzone w INiG – PIB badania, spektrometria mas z plazmą sprzężoną indukcyjnie i modułem pojedynczej cząstki jest skuteczną metodą określania rozkładu wielkości cząstek, która znalazła zastosowanie w analizie wielu rodzajów nanocząstek metali i tlenków metali.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt. *Opracowanie metodyki i oznaczania wybranych nanocząstek metali i tlenków metali w próbkach środowiskowych* – praca INiG – PIB na zlecenie Ministerstwa Edukacji i Nauki; nr zlecenia: 0082/GE/2021, nr archiwalny: DK-4100-0070/2021.

Literatura

Agista M.N., Guo K., Yu Z., 2018. A State-of-the-Art Review of Nanoparticles Application in Petroleum with a Focus on Enhanced

- Oil Recovery. *Applied Sciences*, 8(6): 871. DOI: 10.3390/app8060871.
- Bahadar H., Maqbool F., Niaz K., Abdollahi M., 2016. Toxicity of Nanoparticles and an Overview of Current Experimental Models. *The Iranian Biomedical Journal*, 20(1): 1–11. DOI: 10.7508/ibj.2016.01.001.
- Baran A., 2015. Prawne aspekty nanotechnologii w kontekście ochrony środowiska. *Ekonomia i Środowisko*, 1(52): 27–40.
- El-Diasty A.I., Ragab A.M., 2013. Applications of Nanotechnology in the Oil & Gas Industry: Latest Trends Worldwide & Future Challenges in Egypt. *North Africa Technical Conference and Exhibition, Cairo, Egypt, April 2013*. DOI: 10.2118/164716-MS.
- Gajec M., Kukulska-Zajac E., Król A., 2020. Determination of silver nanoparticles in liquid environmental samples. *Applied Ecology and Environmental Research*, 18(4): 5775–5788. DOI: 10.15666/aer/1804_57755788.
- Gajec M., Kukulska-Zajac E., Król A., 2021. Optimization of Silver Nanoparticle Separation Method from Drilling Waste Matrices. *Energies*, 14(7): 1950. DOI: 10.3390/en14071950.
- Hansen S.F., 2018. Registration, Evaluation, Authorisation, Categorisation and Tools to Evaluate Nanomaterials – Opportunities and Weaknesses (REACT NOW). *Kgs. Lyngby, Denmark: Technical University of Denmark (DTU)*. <<https://core.ac.uk/download/pdf/157777386.pdf>> (dostęp: czerwiec 2021).
- Hassani S.S., Amrollahi A., Rashidi A., Soleymani M., Rayatdoost S., 2016. The effect of nanoparticles on the heat transfer properties of drilling fluids. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 146: 183–190. DOI: 10.1016/j.petrol.2016.04.009.
- Katende A., Boyou N.V., Ismail I., Chung D.Z., Sagala F., Hussein N., Ismail M.S., 2019. Improving the performance of oil based mud and water based mud in a high temperature hole using nanosilica nanoparticles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 577: 645–673. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2019.05.088.
- Kołodziejczyk B., 2016. Brief for GSDR – 2016 Update Nanotechnology, Nanowaste and Their Effects on Ecosystems: A Need for Efficient Monitoring, Disposal and Recycling. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/9539GSDR_Nano_brief%204.pdf> (dostęp: czerwiec 2021).
- Kotsmar C., Yoon K.Y., Yu H., Ryoo S.Y., Barth J., Shao S., Prodanović M., Milner T.E., Bryant S.L., Huh C., Johnston K.P., 2010. Stable citrate-coated iron oxide superparamagnetic nanoclusters at high salinity. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 49: 12435–12443. DOI: 10.1021/ie1010965.
- Krasodomski W., Rembiesa-Smieszek A., Skibińska A., 2013. Nanocząstki w środkach smarowych. *Nafta-Gaz*, 3: 220–225.
- Kumar N., Kumar A., Kumar S., 2018. Effect of synthesized AMPS-g-clay/CuO nanocomposite on WBDFS for challenging formations. *IADC/SPE Asia Pacific drilling technology conference and exhibition, 27–29 sierpnia, Bangkok, Thailand*. DOI: 10.2118/191105-MS.
- Maciąg M., Maciąg K., 2018. Najnowsze doniesienia z zakresu nanotechnologii. *Wydawnictwo Naukowe TYGIEL Sp. z o.o., Lublin*.
- Mohammadi M., Akbari M., Fakhrouieian Z., Bahramian A., Azin R., Arya S., 2011. Inhibition of asphaltene precipitation by TiO₂, SiO₂, and ZrO₂ nanofluids. *Energy Fuels*, 25: 3150–3156. DOI: 10.1021/ef2001635
- Ogolo N.A., Olafuyi O.A., Onyekonwu M.O., 2012. Enhanced oil recovery using nanoparticles. *SPE Saudi Arabia section technical symposium and exhibition, 8–11 kwietnia, Al-Khobar, Saudi Arabia*. DOI: 10.2118/160847-MS.
- Prabhu S., Poulouse E.K., 2012. Silver nanoparticles: mechanism of antimicrobial action, synthesis, medical applications, and toxicity effects. *International Nano Letters*, 2: 32. DOI: 10.1186/2228-5326-2-32.
- Ryoo S., Rahmani A.R., Yoon K.Y., Prodanović M., Kotsmar C., Milner T.E., Johnston K.P., Bryant S.L., Huh C., 2012. Theoretical and experimental investigation of the motion of multiphase fluids containing paramagnetic nanoparticles in porous media. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 81: 129–144. DOI: 10.2118/134879-MS.
- Rzepka M., Kędziński M., 2019. Zaczyny cementowe z dodatkiem nanokomponentów do uszczelniania kolumn rur okładzinowych w otworach wiertniczych o głębokości końcowej około 1000–2000 metrów. *Nafta-Gaz*, 11: 674–682. DOI: 10.18668/NG.2019.11.02.
- Rzepka M., Kędziński M., 2020. Możliwości zastosowania nanotlenku glinu w zacinach cementowych przeznaczonych do uszczelniania rur okładzinowych w otworach wiertniczych. *Nafta-Gaz*, 1: 46–56. DOI: 10.18668/NG.2020.01.06.
- Sotto A., Boromand A., Balta S., Kim J., Van der Bruggen B., 2011. Doping of polyethersulfone nanofiltration membranes: Antifouling effect observed at ultralow concentrations of TiO₂ nanoparticles. *Journal of Materials Chemistry*, 21: 10311–10320. DOI: 10.1039/C1JM11040C.
- Wilk K., Kasza P., Czupski M., 2014. Zastosowanie nanocieczy jako dodatków wspomagających proces wypierania ropy naftowej. *Nafta-Gaz*, 1: 14–20.
- Wu H., Zhou Q., Xu D., Sun R., Zhang P., Bai B., Kang W., 2018. SiO₂ nanoparticle-assisted low-concentration viscoelastic cationic surfactant fracturing fluid. *Journal of Molecular Liquids*, 266: 864–869. DOI: 10.1016/j.molliq.2018.06.107.
- Yang X., Shang Z., Liu H., Cai J., Jiang G., 2017. Environmental-friendly salt water mud with nano-SiO₂ in horizontal drilling for shale gas. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 156: 408–418. DOI: 10.1016/j.petrol.2017.06.022.

Akty prawne i dokumenty normatywne

- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2000/60/WE ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej (Dz. Urz. UE L 327 z 22.12.2000 z późn. zm.).
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE w sprawie odpadów (Dz. Urz. UE L 312 z 22.11.2008 z późn. zm.).
- PN-EN 12457-2:2006 Charakteryzowanie odpadów – Wymywanie – Badanie zgodności w odniesieniu do wymywania ziarnistych materiałów odpadowych i osadów – Część 2: Jednostopniowe badanie porcjowe przy stosunku cieczy do fazy stałej 10 l/kg w przypadku materiałów o wielkości cząstek poniżej 4 mm (bez redukcji lub z redukcją wielkości).
- PN-EN 12457-4:2006 Charakteryzowanie odpadów – Wymywanie – Badanie zgodności w odniesieniu do wymywania ziarnistych materiałów odpadowych i osadów – Część 3: Dwustopniowe badanie porcjowe przy stosunku cieczy do fazy stałej 2 l/kg i 8 l/kg dla materiałów o wysokiej zawartości fazy stałej i wielkości cząstek poniżej 4 mm (bez redukcji lub z redukcją wielkości).
- Rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 grudnia 2006 r. w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH) i utworzenia Europejskiej Agencji Chemikaliów, zmieniające dyrektywę 1999/45/WE oraz uchylające rozporządzenie Rady (EWG) nr 793/93 i rozporządzenie Komisji (WE) nr 1488/94, jak również dyrektywę Rady 76/769/EWG i dyrektywy Komisji 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/WE i 2000/21/WE (Dz. Urz. UE L 396/1 z 30.12.2006 z późn. zm.).

Rozporządzenie Komisji (WE) nr 10/2011 z dnia 14 stycznia 2011 r. w sprawie materiałów i wyrobów z tworzyw sztucznych przeznaczonych do kontaktu z żywnością (Dz. Urz. UE L 12/1 z 15.1.2011 z późn. zm.).

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2015/2283 z dnia 25 listopada 2015 r. w sprawie nowej żywności, zmieniające rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1169/2011 oraz uchylające rozporządzenie (WE) nr 258/97 Parlamentu Europejskiego i Rady oraz rozporządzenie Komisji (WE) nr 1852/2001 (Dz. Urz. UE L 327/1 z 11.12.2015 z późn. zm.).

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1333/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. w sprawie dodatków do żywności (Dz. Urz. UE L 354/16 z 31.12.2008, z późn. zm.).

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1272/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania substancji i mieszanin (CLP), zmieniające i uchylające dyrektywy 67/548/EWG i 1999/45/WE oraz

zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 (Dz. Urz. UE L 353/1 z 31.12.2008 z późn. zm.).

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1007/2011 z dnia 27 września 2011 r. w sprawie nazewnictwa włókien tekstylnych oraz etykietowania i oznakowywania składu surowcowego wyrobów włókienniczych (Dz. Urz. UE L 272/1 z 18.10.2011 z późn. zm.).

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1223/2009 z dnia 30 listopada 2009 r. dotyczące produktów kosmetycznych (Dz. Urz. UE L 242/59 z 22.12.2009 z późn. zm.).

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 2017/745 z dnia 5 kwietnia 2017 r. w sprawie wyrobów medycznych (Dz. Urz. UE L 117/1 z 5.5.2017 z późn. zm.).

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 528/2012 z dnia 22 maja 2012 r. w sprawie udostępniania na rynku i stosowania produktów biobójczych (Dz. Urz. UE L 167/1 z 27.6.2012 z późn. zm.).



Mgr Monika Gajec
Główny specjalista inżynierjno-techniczny
w Zakładzie Ochrony Środowiska
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: monika.gajec@inig.pl



Dr Anna KRÓL
Adiunkt w Zakładzie Ochrony Środowiska
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: anna.krol@inig.pl



Dr Ewa KUKULSKA-ZAJĄC
Zastępca Dyrektora ds. Gazownictwa
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: ewa.kukulska@inig.pl



Mgr inż. Marta DOBRZAŃSKA
Główny specjalista inżynierjno-techniczny
w Zakładzie Ochrony Środowiska
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: marta.dobrzanska@inig.pl

OFERTA BADAWCZA ZAKŁADU OCHRONY ŚRODOWISKA

- analiza zagrożeń środowiska naturalnego, związanych z działalnością przemysłu naftowego i gazowniczego,
- weryfikacja i ocena wpływu technologii na środowisko w przemyśle naftowym i gazowniczym, zgodnie z najnowszymi trendami,
- monitoring i badania laboratoryjne elementów środowiska (powietrza, wód i gleby) na terenach poszukiwania i eksploatacji złóż węglowodorów oraz na innych terenach przemysłowych,
- badania laboratoryjne ścieków i odpadów (w tym odpadów wiertniczych, odpadów po zabiegu hydraulicznego szczelinowania, odpadowych wód złożowych i cieczy technologicznych) oraz ocena ich potencjalnej szkodliwości dla środowiska,
- klasyfikacja odpadów wydobywczych wraz ze sporządzaniem charakterystyki odpadu, zgodnie z obowiązującymi regulacjami,
- analiza zawartości rtęci w próbkach środowiskowych (stałych i ciekłych), mieszaninach gazowych i materiałach przemysłowych,
- inwentaryzacja wielkości emisji metanu z sektora poszukiwania, wydobywania, magazynowania oraz przesyłu i dystrybucji gazu wraz oceną możliwości jej redukcji,
- inwentaryzacja wielkości emisji gazów cieplarnianych,
- ocena jakości paliw węglowodorowych, w tym gazu ziemnego, koksowniczego, gazów wytwarzanych w przemyśle,
- kompleksowa analiza biogazu, w tym analiza związków krzemu, chloru i fluoru,
- monitoring jakości gazu ziemnego w systemie gazowniczym,
- sporządzanie oraz aktualizacja kart charakterystyki substancji i mieszanin niebezpiecznych, zgodnie z obowiązującym prawodawstwem,
- akredytowany pobór próbek wód, ścieków, gleb, odpadów oraz gazu ziemnego, biogazu i innego typu mieszanin gazowych.



Kierownik: dr Ewa Kukulska-Zajac Adres: ul. Bagrowa 1, 30-733 Kraków
Telefon: 12 617 74 36, 797 727 103 Faks: 12 653 16 65 E-mail: ewa.kukulska@inig.pl



INSTYTUT NAFTY I GAZU
– Państwowy Instytut Badawczy