

Prof. dr hab. inż. Żaneta Polkowska  
Katedra Chemii Analitycznej  
Wydział Chemiczny  
Politechnika Gdańska

Recenzja pracy doktorskiej pt.:

**Opracowanie i zastosowanie nowych procedur analitycznych do oznaczania  
wybranych związków poli- i perfluoroalkilowych w próbach  
środowiskowych**

**Autor: mgr inż. Magdaleny Zarębskiej**

**Podstawa opracowania:**

Recenzja opracowana na zlecenie Pani Dyrektora Dyscypliny Nauki Chemicznej prof. dr hab. inż. Doroty Neugebauer z dnia 8.10.2025 roku.

Przedstawiona mi do recenzji praca doktorska autorstwa Pani mgr inż. Magdaleny Zarębskiej wpisuje się w nurt badań naukowych ukierunkowanych na problemy związane z oznaczaniem 25 związków z grupy per- i polifluoroalkilowych (PFAS, ang. *per- and polyfluoroalkyl substances*) w różnych typach matryc środowiskowych, ze szczególnym uwzględnieniem wód. Ta grupa związków (PFAS) to syntetyczne związki fluoroorganiczne, w których cząsteczce jest wiele atomów fluoru przyłączonych do łańcucha alkilowego. Związki te zawierają przynajmniej jedną grupę perfluoroalkilową  $C_nF_{2n-}$ . To bardzo obszerna grupa obejmująca ponad 8000 syntetycznych związków chemicznych wykorzystywanych m.in. w produkcji pian gaśniczych tworzących film wodny, materiałów hydrofobowych i odpornych na zabrudzenia, takich jak skóry oraz powłoki tekstylne. Ponadto stosuje się je w produkcji naczyń kuchennych z powłoką nieprzywieralną (np. Teflon<sup>TM</sup>, Tefal<sup>®</sup>), opakowań do żywności, kosmetyków, wosków podłogowych, insektycydów, środków powierzchniowo czynnych wykorzystywanych w górnictwie i przemyśle naftowym, a także w elektronice. Tematyka ważna, aktualna, odpowiadająca na zapotrzebowanie wielu środowisk naukowych, eksperckich i decyzyjnych zarówno w Polsce, Europie jak i w świecie. Opracowane metody stanowią odpowiedź na rosnące potrzeby monitoringu środowiskowego, wynikające z planowanych na 2026 r. zmian legislacyjnych Unii Europejskiej, które nałożą obowiązek oznaczania PFAS w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Rozprawa ma charakter wdrożeniowy, zatem jej integralną częścią są udokumentowane propozycje i rekomendacje wdrożeniowe.

Recenzowana praca doktorska była wykonana pod kierunkiem pani dr hab. inż. Sylwii Bajkacz, prof. PŚ oraz opiekuna ze strony przedsiębiorcy dr hab. Zofii Hordyjewicz-Baran w Katedrze Chemii Nieorganicznej, Analitycznej i Elektrochemii na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej. Praca została przygotowana w postaci przewodnika po jednotematycznym cyklu publikacji. Rozprawa doktorska została przygotowana jako „Doktorat wdrożeniowy” współfinansowany przez Ministerstwo Edukacji i Nauki, oznaczonego numerem grantu DWD/5/0621/2021.

Pierwszą część rozprawy doktorskiej stanowi opracowanie składające się z polskiego i angielskiego streszczenia, wprowadzenia, celu badań oraz opisu aktualnego stanu wiedzy (Metody analityczne stosowane do oznaczania PFAS w próbkach środowiskowych), który opublikowano w pracy przeglądowej (TrAC Trends in Analytical Chemistry. 163 (2023) 117062 [P1]). Dodać należy, że przegląd wykonany jest bardzo rzetelnie i przedstawia obszerne informacje w sposób zwarty i czytelny. Zagadnienia przedstawione w tej części zostały trafnie wybrane i dość szczegółowo opisane. Opisy te w pełni wyjaśniają czytelnikowi dlaczego podjęto się takich badań.

W tym miejscu chciałabym zapytać na temat toksyczności wybranych do analizy związków a także czy wie Pani jak taką toksyczność się oznacza?

Następnie dwa rozdziały to „Opracowanie nowych metod LC-MS/MS do oznaczania PFAS” i „Zastosowanie opracowanych procedur analitycznych do oznaczania PFAS” przygotowano na podstawie wyników badań opublikowanych w formie cyklu pięciu artykułów naukowych [P2-P6]. Prace opublikowano w czasopiśmie naukowych o imponująco wysokich parametrach (punktacja MEiN - 800 oraz IF= 45,708 – dla wszystkich prac przedstawionych w doktoracie). Prace w ramach realizowanego doktoratu wdrożeniowego zostały zakończone wdrożeniem w Sieć Badawczą Łukasiewicz – ICSO "Blachownia" w postaci czterech opracowanych procedur analitycznych, związanych z oznaczaniem związków PFAS w próbkach ciekłych (wody, ścieki) i stałych (gleby, tkanki roślinne) w celu poszerzenia oferty usług analitycznych ICSO. Praca zaopatrzona jest także w rozdział „Opis prac wdrożeniowych”, podsumowujący (Podsumowanie i wnioski) i spis literatury (89 pozycji).

#### **Celem rozprawy doktorskiej było**

opracowanie innowacyjnych, zwalidowanych procedur analitycznych, służących do identyfikacji oraz oznaczania wybranych związków poli- i perfluoroalkilowych oraz ich produktów transformacji w różnych matrycach środowiskowych ze szczególnym uwzględnieniem wód, a następnie wdrożenie tych metod jako nowej usługi analitycznej w ramach oferty Instytutu Łukasiewicz – ICSO "Blachownia".

#### **Szczegółowy program badań uwzględniał weryfikację następujących hipotez:**

##### **- hipoteza 1:**

Metody analityczne oparte na technikach chromatograficznych i spektrometrii mas z zastosowaniem wzorców wewnętrznych PFAS znakowanych izotopowo, umożliwiają precyzyjne oznaczanie związków PFAS w różnych matrycach środowiskowych, stanowiąc kluczowe narzędzie w monitoringu oraz ocenie skuteczności technologii ich usuwania i degradacji.

##### **- hipoteza 2:**

PFAS to trwałe i wszechobecne zanieczyszczenia środowiska, które – w zależności od właściwości fizykochemicznych – wykazują zdolność do migracji w wodach powierzchniowych oraz do akumulacji w osadach dennych.

#### **Zakres badań obejmował:**

- przeprowadzenie przeglądu literatury dotyczącej rozwiązań analitycznych stosowanych do oznaczania PFAS w próbkach środowiskowych, ze szczególnym uwzględnieniem środowiska wodnego [P1];
- opracowanie procedury ekstrakcji wybranych związków z grupy PFAS w wymienionych czterech rodzajach matryc środowiskowych [P2–P5];
- scharakteryzowanie właściwości fizykochemiczne wybranych próbek środowiskowych [P2, P5, P6];
- opracowanie warunków oznaczania wybranych związków z grupy PFAS w czterech rodzajach matryc środowiskowych (wody, ścieki, osady, tkanki roślinne) z użyciem LC-MS/MS [P2, P5, P6];
- oznaczenie parametrów walidacyjnych opracowanych procedur analitycznych [P2–P6];
- wykonanie badań w środowisku wodnym w celu oznaczenie związków z grupy PFAS, identyfikacji potencjalnych źródeł emisji oraz oceny ryzyka ekologicznego [P2, P5];
- ocena skuteczność usuwania PFAS poprzez popularne filtry butelkowe i dzbankowe [P3, P4];
- zbadanie skuteczność fotodegradacji wybranych PFAS w środowisku wodnym z zastosowaniem opracowanego procesu pogłębionej redukcji (ARP) i zidentyfikowano ich produkty transformacji, proponując możliwe ścieżki degradacji [P6].

Brak mi w tej części jedynie zestawienia stosowanej aparatury. Jest ona opisana jedynie w opublikowanych pracach.

**Cel naukowy rozprawy** został poprawnie i logicznie sprecyzowany. Cel osiągnięto poprzez wykonanie następujących badań i następnie opisanie ich w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym:

1. opracowanie nowych metod LC-MS/MS do oznaczania PFAS [P2–P6]:
  - dobranie parametrów pracy układu LC-MS/MS (dobór parametrów źródła jonów, dobór kolumny chromatograficznej, dobór temperatury kolumny, dobór programu elucji, dobór docelowych czasów skanowania w trybie sMRM);
  - dobranie parametrów ekstrakcji PFAS z różnych rodzajów matryc (wydzielanie PFAS z ciekłych próbek środowiskowych, wydzielanie PFAS ze stałych próbek środowiskowych);
  - ocena parametrów walidacyjnych opracowanych metod (zapewnienie jakości i kontrola jakości; określenie selektywności, wyznaczenie efektu matrycowego, wyznaczenie liniowości metody, wyznaczenie granicy wykrywalności i oznaczalności, wyznaczenie odzysku i precyzji metody);
  - ocena profilu ekologicznego opracowanych metod;

2. zastosowanie opracowanych procedur analitycznych do oznaczania PFAS;
3. połączenie opracowanych metod analitycznych z narzędziami statystycznymi w identyfikacji przestrzennego zróżnicowania i potencjalnych źródeł emisji PFAS;
4. zastosowanie opracowanych metod analitycznych w ocenie ryzyka środowiskowego;
5. zastosowanie opracowanych metod analitycznych w ocenie usuwania PFAS z matryc ciekłych;
6. zastosowanie opracowanych metod analitycznych w ustalaniu ścieżek transformacji wybranych PFAS.

Prace eksperymentalne zostały przez Doktorantkę prawidłowo zaplanowane oraz wykonane w staranny sposób co pozwoliło na realizację założonych zadań. Uzyskane wyniki zostały omówione w sposób rzeczowy i wyczerpujący. Wyniki przeprowadzonych badań uzupełniają lukę w literaturze naukowej o nowe aspekty związane z wykorzystaniem opracowanych metod analitycznych.

Przeprowadzane badania pozwoliły Doktorantce na zrealizowanie założonych celów pracy co zostało opisane w sześciu wieloautorskich publikacjach (w których jest zawsze pierwszą autorką i autorem do korespondencji):

**[P1] Zarębska, M.,** Bajkacz S. Poly- and perfluoroalkyl substances (PFAS) – Recent advances in the aquatic environment analysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 163 (2023) 117062. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.117062>.

*IF: 14,908; MEiN: 200 pkt; TOP 1 Scopus*

**[P2] Zarębska, M.,** Bajkacz, S., Hordyjewicz-Baran, Z. Assessment of legacy and emerging PFAS in the Oder River: occurrence, distribution, and sources. *Environmental Research*. 251 (1) (2024) 118608. <https://doi.org/10.16/j.envres.2024.118608>.

*IF: 8,3; MNiSW: 100 pkt; TOP 10 Scopus*

**[P3] Zarębska, M.,** Bajkacz, S., Malorna, K. Evaluation of pitcher and bottle filters for reducing selected emerging contaminants in drinking water. *Desalination and Water Treatment*. 321:100937 (2025) s. 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100937>.

*IF: 1,0; MNiSW: 100 pkt*

**[P4] Zarębska, M.,** Bajkacz S., Malorna K., Torchała, K. Effectiveness of pitcher and bottle filters to remove poly- and perfluoroalkyl substances (PFAS) from drinking water. *Science of The Total Environment*. 976 (2025) 179327. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179327>

*IF: 8,2; MNiSW: 200 pkt, TOP 5 Scopus*

**[P5] Zarębska, M.,** Bajkacz, S., Sabura, E. Modified QuEChERS extraction coupled with LC-MS/MS for the determination of per- and polyfluoroalkyl substances in sediments. *Talanta*. 297 (2026) 128567. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2025.128567>

*IF: 6,1; MNiSW: 100 pkt*

**[P6] Zarębska, M.,** Bajkacz, S., Felis, E., Sowik, P., Bluszcz, A. Enhanced degradation of GenX in wastewater via iodide-assisted UV/sulfite system. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 13(2025) 119226. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.119226>.

*IF: 7,2; MNiSW: 100 pkt; TOP 5 Scopus*

Podsumowując opublikowane prace - sumaryczny wskaźnik IF opublikowanych sześciu prac wynosi: 45,708, co daje średni wskaźnik IF na publikację: 7.618. Z kolei,



sumaryczna liczba punktów MEiN jest równa 800, co w przeliczeniu na jedną publikację wynosi 133,33. Wartości współczynników są na poziomie bardzo dobrym, co w połączeniu z uznanym i renomowanym wydawnictwem, w którym wszystkie artykuły zostały opublikowane, pokazuje, że jest to **imponujące osiągnięcie naukowe**.

#### **Ocena prac wdrożeniowych:**

Zakres i efekty wdrożenia nie budzą żadnych zastrzeżeń. W ramach rozprawy doktorskiej wykonano wszystkie prace wdrożeniowe przewidziane w Indywidualnym Planie Badawczym. Obejmowały one kolejno następujące działania:

1. w ramach pracy opracowano i zwalidowano cztery nowe procedury analityczne do oznaczania 25 związków poli- i perfluoroalkilowych (PFAS) w wodach, ściekach, osadach oraz tkankach roślinnych. Metoda dla próbek wód została dostosowana do przyszłych wymogów legislacyjnych Unii Europejskiej wynikających z Dyrektywy 2020/2184:
  - metoda oznaczania 25 związków poli- i perfluoroalkilowych (PFAS) w próbkach wód (powierzchniowych, przeznaczonych do spożycia przez ludzi) z zastosowaniem LC-MS/MS;
  - metoda oznaczania 25 związków poli- i perfluoroalkilowych (PFAS) w próbkach ścieków z zastosowaniem LC-MS/MS;
  - metoda oznaczania 25 związków poli- i perfluoroalkilowych (PFAS) w próbkach osadów i gleb z zastosowaniem LC-MS/MS;
  - metoda oznaczania 25 związków poli- i perfluoroalkilowych (PFAS) w próbkach tkanek roślinnych z zastosowaniem LC-MS/MS;
2. w ramach pracy opracowano innowacyjną metodę wydzielenia i identyfikacji produktów transformacji oznaczanych związków poli- i perfluoroalkilowych w próbkach środowiskowych (przede wszystkim dla próbek środowiskowych w Łukasiewicz-ICSO "Blachownia").

#### **Wdrożono do zastosowania nowe usługi analityczne:**

- dotyczące próbek ciekłych (wody pitne, wody powierzchniowe, ścieki), dedykowane m.in. przedsiębiorstwom dostarczającym wodę pitną, oczyszczalniom ścieków, zakładom przemysłowym generującym ścieki zawierające PFAS, jednostkom administracji publicznej odpowiedzialnym za ochronę środowiska i ocenę ryzyka środowiskowego i zdrowotnego;
- w zakresie analiz próbek stałych (osady, gleby, tkanki roślinne), dedykowane instytucjom monitorujących środowisko glebowe i gruntowo-wodne, przedsiębiorstwom realizującym rekultywację gruntów, organom administracji centralnej i lokalnej odpowiedzialnych za działania prewencyjne oraz jednostkom oceniającym ryzyko przenikania PFAS do łańcucha pokarmowego (m.in. żywność).

Ten zakres prac w pełni wyczerpuje wymagania dotyczące wdrożenia, w ustawowej regulacji doktoratów wdrożeniowych. Został on zaakceptowany przez firmę Łukasiewicz-ICSO "Blachownia" współpracującą z Katedrą Chemii Nieorganicznej, Analitycznej i Elektrochemii, Wydziału Chemicznego, Politechniki Śląskiej.

Podsumowaniem pracy są **wnioski**. Zdecydowanie brakuje mi tu całościowego podsumowania opracowanych metod (zebrane w tabeli wszystkie składowe, parametry walidacyjne oraz zalety i wady opracowanych metod/procedur).

**Opublikowanie wyników pracy i wdrożenie opracowanych metod wskazuje jednoznacznie, że podjęta problematyka, postawione pytania naukowe, zakres prac i sposób ich realizacji zostały przez środowisko naukowe ocenione jako poprawne i wartościowe naukowo oraz przez przedstawicieli przedsiębiorstwa zostało przyjęte do realizacji przez Łukasiewicz – ICSO "Błachownia". Zakres wdrożenia objął również dokumentację systemową oraz działania promujące usługę, co stanowi potwierdzenie realizacji założonych celów pracy.**

**Dodatkowe prezentacje wyników:** Doktorantka jest jeszcze dodatkowo współautorem 16 publikacji (plus 6 ujętych w doktoracie) o zasięgu międzynarodowym, 5 publikacji o zasięgu krajowym. Łączny IF wszystkich prac wynosi 100,623 a łączna liczba punktów MEiN wynosi 2653. Indeks Hirscha h-index=10. Jest to dorobek ogromny, świadczący o dużym zaangażowaniu Doktorantki w badania naukowe. Prezentowała też wyniki swoich badań (w formie ustnej) na 14 konferencjach oraz na targach branżowych. Doktorantka brała także udział w realizacji pięciu projektów badawczych (związanych z doktoratem), w tym czterech jako kierownik:

- „Ścieki bez granic - problem mikrozanieczyszczeń”. Projekt nr MS2021+CZ.11.01.02/00/23\_011/0000164 w ramach Programu Interreg;
- „Ocena skuteczności usuwania wybranych zanieczyszczeń organicznych z wody pitnej przez popularne filtry dzbankowe oraz butelkowe”. Nr projektu: 32/014/SDU/10-22-51;
- „Nowatorskie opracowanie metod izolacji i identyfikacji związków szkodliwych dla człowieka i dla środowiska. HARM QUANT”. Projekt nr BA/23-04;
- 5. „Nowatorskie opracowanie metod izolacji i identyfikacji wybranych związków poli- i perfluoroalkilowych w próbkach środowiskowych. PFAS-DET”. Projekt nr BA/22-30.

Doktorantka podczas realizacji pracy otrzymała stypendia:

1. stypendium za publikacje wydane w czasopismach TOP1, TOP5, TOP10, czasopismach Nature lub Science oraz za monografie w wysoko punktowanych wydawnictwach, w ramach programu Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza, 2024;
2. stypendium za publikacje wydane w czasopismach TOP1, TOP5, TOP10, czasopismach Nature lub Science oraz za monografie w wysoko punktowanych wydawnictwach, w ramach programu Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza, 2023. .

### **Podsumowanie:**

Opiniowana rozprawa doktorska Pani mgr inż. Magdaleny Zarębskiej pt. ***Opracowanie i zastosowanie nowych procedur analitycznych do oznaczania wybranych związków poli- i perfluoroalkilowych w próbach środowiskowych*** jest bardzo wartościowym opracowaniem metodyczno-narzędziowym, ukierunkowanym na aplikację związaną z opracowaniem i wdrożeniem zestawu innowacyjnych procedur analitycznych do oznaczania 25 związków PFAS. Uważam, że przedstawione w rozprawie doktorskiej wyniki

badania, stanowią oryginalne rozwiązanie. Uważam, że Doktorantce w pełni udało się zrealizować wszystkie postawione przed nią zadania i osiągnąć założony cel pracy. Analizując udział Doktorantki w tworzeniu artykułów naukowych wchodzących w cykl postępowania doktorskiego to w każdym przypadku była Ona współtwórcą koncepcji oraz metodologii badań, brała czynny udział w pracach laboratoryjnych związanych z częścią doświadczalną oraz uczestniczyła w opracowaniu i przygotowaniu finalnej wersji prac. Doktorantka była także osobą wiodącą we wprowadzeniu swoich prac do wdrożenia.

**Praca doktorska Pani mgr inż. Magdaleny Zarębskiej stanowi wkład w rozwój dyscypliny naukowej nauki chemiczne.** Zawarte w opinii nieliczne uwagi krytyczne nie obniżają merytorycznej wartości rozprawy. Opiniowana rozprawa doktorska jest starannie przygotowana pod względem edytorskim. Rysunki i wykresy są czytelne, a struktura pracy przejrzysta. Pojawiają się czasem nieścisłości i trochę „chaosu” w przedstawianych tematach. Najpierw powinno się opisywać sposoby przygotowania próbek dopiero później metody analityczne stosowane do oznaczania wybranych związków. Nie ustrzegła się też Doktorantka przed „skrótami myślowymi” i „żargonem laboratoryjnym”. Nie umniejsza to jednak dużej wartości pracy doktorskiej.

#### **Wniosek końcowy:**

**Reasumując, uważam, że recenzowana rozprawa doktorska w pełni spełnia wymogi stawiane tego typu pracom, zgodnie z ustawą z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz.U. 2018, poz. 1668 wraz z późn.zm.) o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, dlatego też wnoszę do Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Śląskiej o dopuszczenie mgr inż. Magdaleny Zarębskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.** Z uwagi na obszerny zakres prac (zrealizowane wdrożenie), wysoki poziom rozprawy, biegłość poruszania się Doktorantki w omawianej tematyce wnoszę do Wysokiej Rady o rozważenie wyróżnienia przedstawionej mi do oceny rozprawy doktorskiej.

Mam jednak jeszcze szczegółowe pytania:

- Które związki PFAS dominowały w badanych próbkach?
- Czy stwierdzono sezonowe lub przestrzenne różnice w stężeniach PFAS?
- Jakie są potencjalne skutki ekologiczne obserwowanych stężeń PFAS?
- Jak wyniki dla Odry wypadają na tle innych europejskich rzek?
- Jakie są ograniczenia filtrów domowych w eliminacji mikrozanieczyszczeń i jakie praktyczne wnioski mogą wyciągnąć konsumenci z tych badań?

-

-



WYDZIAŁ CHEMICZNY  
Politechniki Gdańskiej  
Katedra Chemii Analitycznej

Podpisano odręcznie przez  
autora  
prof. dr hab. inż. Żaneta Polkowska