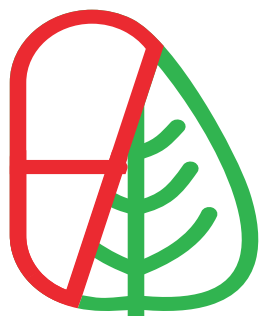


16-17 PAŹDZIERNIKA 2025 R.
GDAŃSK WYDZIAŁ CHEMII
UNIwersytetu Gdańskiego



LEKOŚ'2025

**II POLSKIE SYMPOZJUM
LEKI-KONTRA-ŚRODOWISKO**



KSIĄŻKA ABSTRAKTÓW





KOMITET NAUKOWY I ORGANIZACYJNY

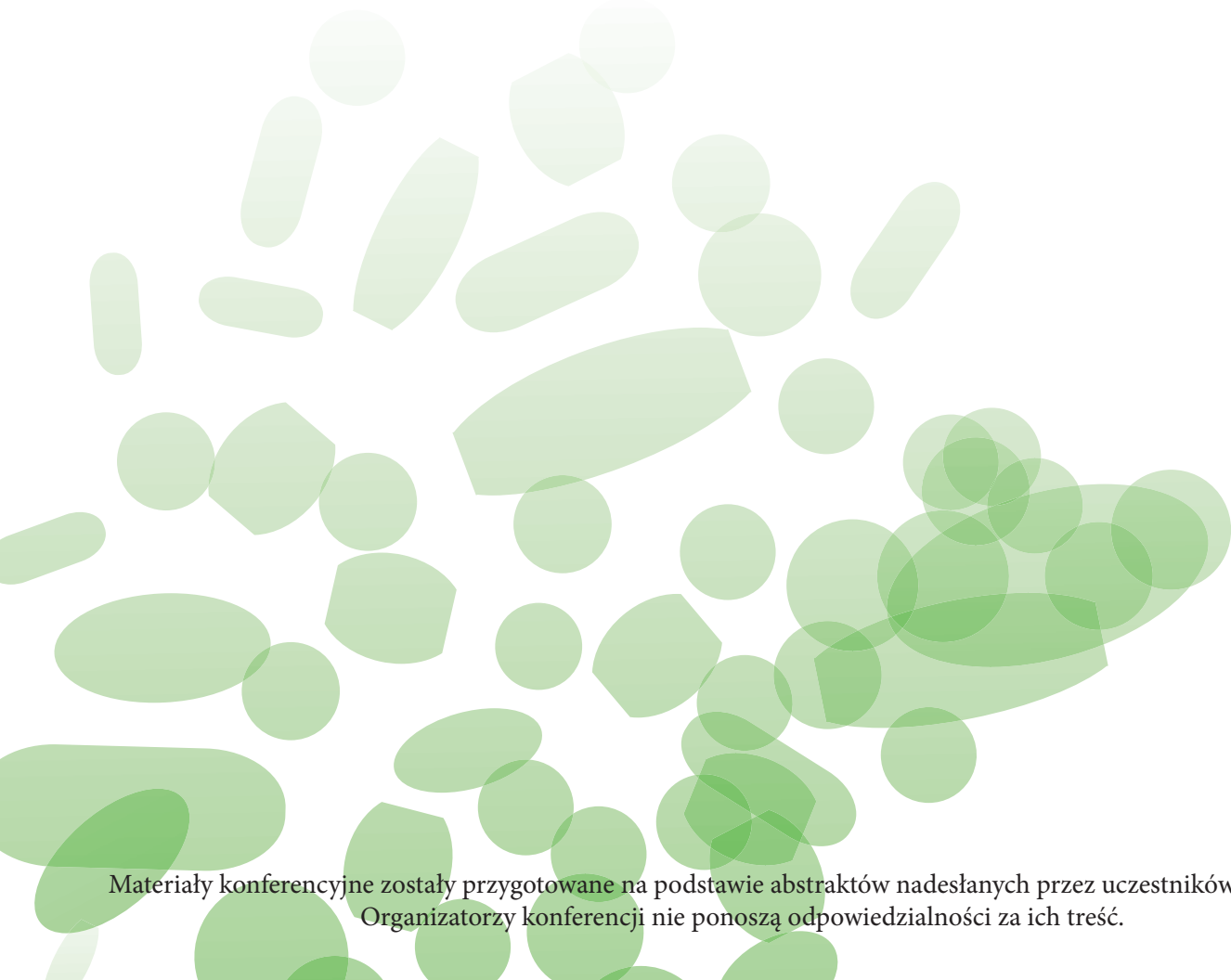
dr hab. inż. Anna Białk-Bielińska, prof. UG – Przewodnicząca

dr hab. inż. Magda Caban, prof. UG

dr Joanna Dołżonek

dr Klaudia Godlewska

prof. dr hab. Jolanta Kumirska



Materiały konferencyjne zostały przygotowane na podstawie abstraktów nadesłanych przez uczestników Konferencji.
Organizatorzy konferencji nie ponoszą odpowiedzialności za ich treść.

PATRONAT NAUKOWY



Uniwersytet
Gdański



Uczelnie
Fahrenheita



Komitet
Chemii Analitycznej



PATRONAT MEDIALNY



SPONSORZY



TIGRET



shim-pol®



Altium



polpharma

WYKŁADY



W1

Śledzenie produktów przemiany leków metodami chromatografii i spektrometrii mas w roztworach traktowanych za pomocą zimnych plazm atmosferycznych

Magda Caban¹, Anna Dzimitrowicz²

¹ Uniwersytet Gdański, Wydział Chemii, 80-308 Gdańsk, ul. Wita Stwosza 63

² Politechnika Wrocławska, Wydział Chemiczny, 50-370 Wrocław, ul. Smoluchowskiego 23

magda.caban@ug.edu.pl

Zaawansowane procesy usuwania zanieczyszczeń, takie jak plazma atmosferyczna nietermiczna, mogą prowadzić do powstawania szkodliwych produktów transformacji. Dlatego w naszych badaniach priorytetowo potraktowaliśmy produkty transformacji w roztworach poddanych działaniu plazmy. Chromatografia gazowa (GC) i wysokosprawna chromatografia cieczowa (HPLC) sprzężona ze spektrometrią mas (MS) to techniki pierwszego wyboru, ponieważ zapewniają one odpowiednią specyfikację związków organicznych w złożonych matrycach. W celu identyfikacji wykorzystano analizę niecelowaną z wykorzystaniem wysokorozdzielczej spektrometrii mas (HRMS), szczególnie korzystnej w tego typu badaniach. Ponadto zmiany ilościowe składu śledzono za pomocą HPLC z detekcją matrycą diodową (DAD). Natomiast profile substancji lotnych analizowane były metodą mikroekstrakcji w fazie stałej (SPME) w połączeniu z GC/MS.

W tej prezentacji przedstawiamy 4-letnie doświadczenie w stosowaniu GC-MS, LC-HRMS i HPLC-DAD do analizy zmian składu chemicznego różnych matryc: mieszaniny niebezpiecznych i zaburzających gospodarkę hormonalną związków w roztworach ciekłych¹, antybiotyków^{2,3} i diklofenaku⁴. Śledzono różne reakcje transformacji, przykładowo utleniania, fragmentacji i dehalogenacji. Jeśli było to możliwe, proponowano ścieżki transformacji. Produkty transformacji były zazwyczaj bardziej polarne niż związki natywne. Posiadały też często większe masy molekularne od związków wyjściowych.

Podsumowując, zastosowanie wspomnianych technik jest niezbędne w ocenie zrozumienia procesów zaawansowanego oczyszczania, pomiarze wydajności usuwania i testowaniu bezpieczeństwa otrzymanych roztworów.

Podziękowania: Badania finansowane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektu UMO-2019/35/D/ST8/04107.

¹ A. Dzimitrowicz, A. Motyka-Pomagruk, P. Cyganowski, P. Jamroz, D. Terefinko, P. Pohl, T. Klis, M. Caban, *J. Environ. Chem. Eng.*, **2021**, 9, 106718.

² A. Dzimitrowicz, M. Caban, D. Terefinko, P. Pohl, P. Jamroz, W. Babinska, P. Cyganowski, P. Stepnowski, E. Lojkowska, W. Sledz, A. Motyka-Pomagruk, *Sci. Rep.*, **2022**, 12, 1–16.

³ D. Terefinko, M. Caban, A. Motyka-Pomagruk, W. Babinska, P. Pohl, P. Jamroz, P. Cyganowski, W. Sledz, E. Lojkowska, P. Stepnowski, A. Dzimitrowicz, *Chem. Eng. J.*, **2023**, 452.

⁴ A. Dzimitrowicz, D. Terefinko, A. Bielawska-Pohl, A. Motyka-Pomagruk, P. Jamroz, P. Cyganowski, K. Lenard, P. Pohl, A. Klimczak, M. Caban, *J. Environ. Chem. Eng.*, **2024**, 12, 111598.

W2

Immobilizacja jako klucz do skuteczniejszej biodegradacji farmaceutyków – przypadek naproksenu

Anna Dzionek¹, Danuta Wojcieszńska¹, Urszula Guzik¹

¹Uniwersytet Śląski w Katowicach, Wydział Nauk Przyrodniczych, 40-032 Katowice, Jagiellońska 28

anna.dzionek@us.edu.pl

Farmaceutyki, a w szczególności niesteroidowe leki przeciwzapalne (NLPZ), należą do grupy zanieczyszczeń, które ze względu na powszechne stosowanie coraz częściej identyfikowane są w środowisku wodnym. Jednym z najczęściej wykrywanych związków jest naproksen – lek będący pochodną naftalenu, wykazujący wysoką trwałość i niską podatność na degradację w procesach oczyszczania ścieków. Jego obecność, nawet w niewielkich stężeniach, może powodować zaburzenia w funkcjonowaniu mikroorganizmów oraz obniżenie różnorodności biologicznej ekosystemów. Dodatkowym problemem jest powstawanie toksycznych produktów fototransformacji podczas dezynfekcji ścieków promieniowaniem UV¹. Dlatego poszukiwanie skutecznych biologicznych metod eliminacji naproksenu z wód i ścieków jest istotnym wyzwaniem biotechnologii środowiskowej.

Celem prezentowanych badań była ocena wpływu immobilizacji komórek bakteryjnych na efektywność biodegradacji naproksenu. Doświadczenia przeprowadzono z wykorzystaniem dwóch szczepów wyizolowanych ze środowiska – *Planococcus* sp. S5 oraz *Bacillus thuringiensis* B1(2015b). Komórki immobilizowano metodą adsorpcji na naturalnym nośniku – gąbce Loofah, a następnie testowano ich zdolności degradacyjne zarówno w warunkach monokulturowych, jak i w złożu biologicznym zasiedlonym rodzimym mikrobiomem z oczyszczalni ścieków w Krupskim Młynie (województwo śląskie, Polska).

Uzyskane wyniki jednoznacznie potwierdziły, że unieruchomienie komórek istotnie zmniejszało ich wrażliwość na działanie leku i przyspieszało jego rozkład. Szczep *Planococcus* sp. S5 w formie immobilizowanej degradował naproksen w stężeniach przekraczających próg hamowania obserwowany dla komórek wolnych, a czas rozkładu uległ niemal dwukrotnemu skróceniu. Co istotne, aktywność degradacyjna szczepu utrzymywała się przez 55 dni, umożliwiając rozkład kolejnych dawek związku. Z kolei *Bacillus thuringiensis* B1(2015b) wprowadzony do złoża biologicznego wykazał synergistyczne oddziaływania z rodzimym mikrobiomem, skutkujące prawie 90% usunięciem naproksenu w ciągu 15 dni. W systemach pozbawionych rodzimej mikroflory skuteczność była wyraźnie niższa, co potwierdza znaczenie interakcji pomiędzy wprowadzonymi szczepami a mikrobiomem zasiedlającym biologiczne systemy oczyszczalni ścieków.

Badania dowiodły, że immobilizacja komórek bakteryjnych nie tylko podnosi efektywność biodegradacji naproksenu, ale również zwiększa ich stabilność i długotrwałość aktywności degradacyjnej. Strategia bioaugmentacji może stanowić cenne uzupełnienie klasycznych procesów oczyszczania ścieków, wspierając eliminację trudnodegradowalnych farmaceutyków oraz ograniczając ich negatywny wpływ na bioróżnorodność środowiska wodnego.

¹ M. Isidori, M., Lavorgna, A. Nardelli, A. Parrella, L. Previtera, M. Rubino, *Sci. Total Environ.*, **2005**, 348, 93-101.

W3

Skuteczność katalitycznego ozonowania w eliminacji antybiotyków, patogenów i genów oporności — badania i wyzwania

Marta Gmurek^{1,2,3}, Cong Xiaoyu², Paweł Mazierski⁴, Magdalena Miodyńska⁴, Adriana Zaleska-Medynska⁴, Thomas Schwartz², Harald Horn^{3,5}

¹ Lodz University of Technology, Faculty of Chemistry, 90-924 Lodz, ul. Żeromskiego 116, Poland

² Karlsruhe Institute of Technology, Institute of Functional Interfaces (IFG), 76344 Karlsruhe Eggenstein-Leopoldshafen, Hermann von Helmholtz Platz 1, Germany

³ Karlsruhe Institute of Technology, Engler-Bunte-Institut, Water Chemistry and Water Technology, 76131 Karlsruhe, Germany

⁴ University of Gdansk, Faculty of Chemistry, 80-308 Gdansk, Poland

⁵ DVGW German Technical and Scientific Association for Gas and Water Research Laboratories, 76131 Karlsruhe, Germany

marta.gmurek@p.lodz.pl

Ścieki są uznawane za główne źródło antybiotyków w naturalnym środowisku wodnym. Antybiotyki słabo ulegają degradacji w oczyszczalniach ścieków (WWTP), a ich produkty przemiany mogą być szkodliwe dla organizmów wodnych. Ponadto, zanieczyszczenie ścieków antybiotykami w oczyszczalniach jest związane z rozwojem bakterii opornych na antybiotyki (ARB) oraz genów oporności na antybiotyki (ARG), co stanowi zagrożenie dla zdrowia ludzi i zwierząt. Powszechne występowanie genów oporności na antybiotyki pochodzących od bakterii chorobotwórczych oraz fakultatywnie chorobotwórczych (FPB) w środowisku wodnym, ich niska skuteczność usuwania w konwencjonalnych procesach oczyszczania ścieków oraz horyzontalne przenoszenie genów oporności między bakteriami środowiskowymi a patogenami ludzkimi sprawiają, że rozwój oporności na antybiotyki stał się złożonym, globalnym problemem zdrowotnym. Zjawisko ponownego wzrostu bakterii budzi pewne obawy, wskazując na brak długotrwałego efektu dezynfekcyjnego w przypadku niektórych technologii dezynfekcji. Mimo unieszkodliwienia żywych bakterii opornych na antybiotyki, istnieje wciąż możliwość przenoszenia nienaruszonego i uwolnionego DNA zawierającego ARG. Krokiem w tym kierunku jest zastosowanie nowych metod dezynfekcji, szczególnie rozwiązujących ten problem, takich jak zaawansowane procesy utleniania oparte na świetle, które mogą dodatkowo wzmacniać efekt bezpośredniego oddziaływania światła na DNA.

W niniejszej pracy przedstawiono badania skuteczności różnych fotokatalizatorów w procesie fotokatalitycznym wspomaganym przez O_3 i H_2O_2 w odniesieniu do usuwania wybranych antybiotyków oraz tworzenia potencjalnych produktów transformacji a także inaktywacji ARB oraz ARGs. Celem jest porównanie heterogenicznej fotokatalizy indukowanej światłem widzialnym z ozonowaniem (powszechnie stosowanym AOP), fotokatalitycznym ozonowaniem z użyciem światła słonecznego oraz fotokatalizy w połączeniu z H_2O_2 .

Wykazano, że niemodyfikowane fotokatalizatory, mimo niskiej skuteczności w usuwaniu antybiotyków, zmniejszyły liczbę genów oporności (ARG) i bakterii fakultatywnie chorobotwórczych (FPB) poprzez uszkodzenia strukturalne komórek. Fotokatalizatory Pd-Cu i te zawierające miedź wykazywały wyższą efektywność w usuwaniu ARG i FPB pod światłem widzialnym. Zastosowanie hybrydowej technologii fotokatalitycznej z O_3 i/lub H_2O_2 pozwoliło na całkowite usunięcie ARG i FPB ze ścieków bez ponownego wzrostu bakterii.

PODZIĘKOWANIA: Marta Gmurek dziękuje Fundacji im. Alexandra von Humboldta za udzielone wsparcie.

W4

Farmaceutyki w ściekach: efektywność oczyszczania i ryzyko środowiskowe

Paulina Chaber-Jarlachowicz¹, Barbara Gworek¹, Radosław Kalinowski²

¹Instytut Ochrony Środowiska - Państwowy Instytut Badawczy, 02-170 Warszawa, ul. Słowicza 32

²Science Consultancy, 00-187 Warszawa, ul. Ludwika Zamenhofs 10 lok. 74

barbara.gworek@ios.edu.pl

Celem niniejszej pracy było zbadanie występowania, skuteczności usuwania, ładunku środowiskowego oraz ryzyka ekologicznego wybranych farmaceutyków w komunalnych oczyszczalniach ścieków. Do badań wytypowano sześć oczyszczalni obsługujących ponad 200 000 mieszkańców. Stężenia farmaceutyków analizowano metodą LC-MS/MS. Skuteczność usuwania oceniano na podstawie bilansu masy związków w ściekach dopływających, odpływających oraz w osadach ściekowych. Potencjalne ryzyko ekologiczne powodowane przez poszczególne farmaceutyki oceniono następnie na podstawie ilorazu ryzyka (RQ). Badaniami objęto najczęściej wykrywane substancje czynne farmaceutyków w ściekach i wodach powierzchniowych¹. Farmaceutyki podzielono na grupy: β -blokery (β -adrenolityki), leki przeciwdepresyjne, niesteroidowe leki przeciwzapalne (NLPZ), antybiotyki oraz leki przeciwhistaminowe. Substancje wybrano ze względu na ich stabilność chemiczną i niskie szybkości degradacji.

Związki te wraz ze ściekami oczyszczonymi zrzucane są do powierzchniowych wód płynących z uwagi, że większość oczyszczalni wykorzystujących mechaniczno-biologiczne procesy z osadem czynnym (CAS) nie jest w stanie skutecznie usuwać farmaceutyków. W konsekwencji substancje te przedostają się do wód powierzchniowych, morskich i podziemnych. Część farmaceutyków ulega rozpadowi lub degradacji, lecz większość pozostaje w niezmienionej postaci i utrwała się w środowisku, zachowując aktywność biologiczną nawet przy skrajnie niskich stężeniach. Różnice w efektywności oczyszczania biologicznego ścieków metodą osadu czynnego (CAS) mogą być spowodowane różnicami w temperaturze, zawartości tlenu, czy rodzajem i ilością bakterii biorących udział w procesie oczyszczania. We wszystkich badanych oczyszczalniach emisja farmaceutyków do środowiska przekraczała ładunek masowy tych farmaceutyków wprowadzany do oczyszczalni.

Stężenia farmaceutyków mieściły się w zakresie od 7 ng/L do 1 019 ng/L w ściekach dopływających, od 9 ng/L do 2 266 ng/L w ściekach odpływających oraz od 8,5 μ g/kg do 406 μ g/kg s.m. w osadach ściekowych. Naproksen, kwas salicylowy i ketoprofen były jedynymi związkami skutecznie usuwanymi podczas oczyszczania. Największe ryzyko dla organizmów wodnych stwarzały fluoksetyna i loratadyna.

¹ Petrie, B., Barden, R. & Kasprzyk-Hordern, B., *Water Res.*, **2015**, 72, 3-27.

W5

Farmaceutyki w środowisku a praktyki domowe: profil utylizacji leków w Polsce (PharmaSea 2025)

Anna Hallmann¹, Aleksandra Czumaj¹, Paulina Goździk¹,
Dagmara Leszczyńska¹, Danuta Dudzik²

¹ Gdański Uniwersytet Medyczny, Wydział Farmaceutyczny, 80-211 Gdańsk, ul. Dębinki 1

² Gdański Uniwersytet Medyczny, Wydział Farmaceutyczny, 80-416 Gdańsk, ul. Hallera 107

hallmann@gumed.edu.pl

Niewłaściwa utylizacja leków stanowi istotne źródło emisji substancji czynnych do środowiska, ze skutkami ekotoksykologicznymi i zdrowotnymi. W ramach projektu PharmaSea w 2025 r. przeprowadzono ogólnopolskie, reprezentatywne badanie ankietowe (N=510) realizowane przez certyfikowaną agencję badawczą PBS (Sopot). Celem była ocena świadomości i postaw dorosłych mieszkańców Polski wobec odpadów farmaceutycznych i obecności leków w środowisku, ze szczególnym uwzględnieniem praktyk dotyczących przeterminowanych i nieużywanych produktów leczniczych. Między innymi zapytano respondentów w jaki sposób utylizują przeterminowane leki. Wyniki raportowano jako odsetki wskazań (odpowiedzi wielokrotne).

Najczęściej deklarowaną praktyką był zwrot leków do aptek (72%). Rzadziej wskazywano wyrzucanie do odpadów komunalnych (17%) oraz korzystanie ze specjalnych pojemników w szpitalach, przychodniach lub urzędach (13%). Mniejszy odsetek respondentów przyznał się do przekazywania leków innym osobom (5%), spalania (5%) lub splukiwania do kanalizacji (3%).

Otrzymany profil praktyk znacząco odbiega od danych dominujących dotychczas w polskich opracowaniach przeglądowych (raport „Leki w środowisku – zagrożenia i wyzwania, 2024”; OECD, 2022)^{1,2}, które opierały się na jedynej polskiej publikacji ankietowej Staniszewskiej i wsp.³ (2015; N=198; woj. mazowieckie). W tamtym badaniu przeważającą odpowiedzią ankietowanych było wyrzucanie przeterminowanych leków do śmieci (58%) i do toalety (28%), natomiast zwroty do aptek stanowiły niewielki procent.

Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że obserwujemy zatem wyraźny wzrost świadomości społecznej w zakresie prawidłowej utylizacji farmaceutyków, co ma kluczowe znaczenie dla ochrony środowiska i zdrowia publicznego. Pytanie badawcze na kolejne lata dotyczy trwałości obserwowanej zmiany i jej przełożenia na realne zachowania w całej populacji, oraz poszukiwania realnego źródła farmaceutyków w środowisku.

¹ Białk-Bielińska A., Caban M. *Leki w środowisku – zagrożenia i wyzwania – raport dla Leków do Apteki*, 2024

² OECD, Raport Management of Pharmaceutical Household, Limiting Environmental Impacts of Unused or Expired Medicine, 2022

³ Staniszevska A., Siwek A., Zaremba M., Juszczyk G. Religioni U., Bujalska-Zadrożny M., *Probl Hig Epidemiol.* 2015, 96 (3), 697-703.

W6

Antibiotics, AMR and One Health actions: exploring factors driving health risks and evidence-driven intervention strategies

Barbara Kasprzyk-Hordern¹, Neil Byrnes¹ and Emma Vaughan²

¹Department of Chemistry, University of Bath, Claverton Down, Bath, BA2 7AY, UK

²Centre of Excellence in Water Based Early Warning Systems for Health Protection, Bath, BA2 7AY

One Health is focused on a holistic understanding and management of public and environmental health. This talk will introduce Wastewater-Based Epidemiology (WBE) as an enabler of One Health actions in tackling key global challenges such as antibiotic use and antimicrobial resistance. Chemical mining of wastewater and the wider environment for antibiotics, antibiotic resistance genes and other groups of chemicals (as co-founding factors) was undertaken in a regional and two national studies capturing 10 mln people. In-house mass spectrometry methods and polymerase chain reaction were used to understand spatiotemporal speciation of chemical and biological targets in the context of geographical, seasonal as well as community-wide socioeconomic and demographic factors.

This talk will:

1. Explore associations between antibiotics, AMR and the wider cofounding factors such as geography, seasonality and socioeconomic and demographic drivers in AMR prevalence, antibiotic use.
2. Discuss the role of AMR hotspots: wastewater treatment plants and hospitals.
3. Identify management strategies, including at-source interventions (reduction in prescribing, educational campaigns) and nature-driven solutions (wetland systems).

W7

Czy istnieje idealny marker antropogenicznego zanieczyszczenia środowiska wodnego? Wstęp do metabolomiki środowiskowej.*Agata Kot-Wasik*Politechnika Gdańska, Wydział Chemiczny,
80-233 Gdańsk, ul. G. Narutowicza 11/12

agawasik@pg.edu.pl

Rewolucja przemysłowa wniosła istotny i niekwestionowany wkład w poprawę komfortu życia oraz dobrobytu ludzkości. Jednocześnie przyczyniła się do intensyfikacji działalności antropogenicznej, prowadzącej do produkcji i wykorzystywania coraz większej liczby nowych substancji chemicznych, a w konsekwencji — do ich uwalniania i zanieczyszczania ekosystemów wodnych. W tym kontekście farmaceutyki w ciągu ostatnich dekad odegrały kluczową rolę w ratowaniu milionów istnień ludzkich. Jednak rosnące zapotrzebowanie na tego typu związki chemiczne sprawiło, że stały się one nową klasą zanieczyszczeń środowiskowych, coraz częściej wykrywanych w niemal wszystkich matrycach środowiskowych na całym świecie.

Nowopojawiające się zanieczyszczenia różnią się pod względem rozpuszczalności oraz stabilności w środowisku wodnym. Ich długotrwałe uwalnianie do środowiska oraz stosunkowo powolna degradacja w procesach oczyszczania sprawiają, że związki takie jak sztuczne słodziki, kofeina, farmaceutyki, produkty do higieny osobistej czy narkotyki mogą pełnić rolę nowoczesnych markerów zanieczyszczenia wód. Kluczowe pozostaje jednak pytanie: który z tych związków może być markerem idealnym?

W celu udzielenia odpowiedzi zastosowano podejście metabolomiczne, wykorzystujące potencjał wysokosprawnej chromatografii cieczowej sprzężonej z wysokorozdzielczą spektrometrią mas, służącej do identyfikacji pozostałości zanieczyszczeń obecnych w próbkach wód i ścieków.

Skład ścieków często określany jest mianem zwierciadła zachowań społeczeństwa, odzwierciedlającego jego zdrowie i aktywność. W związku z tym przeprowadzono długoterminowe badania próbek wód i ścieków, pobieranych na terenie województwa pomorskiego, w czterech różnych oczyszczalniach ścieków, różniących się charakterem dopływających ścieków, a także na różnych etapach procesu ich oczyszczania. Profile uzyskane w wyniku analiz metodą HPLC-ESI-QTOF-MS umożliwiły wytypowanie potencjalnych markerów antropogenicznego zanieczyszczenia środowiska wodnego. Badania zostały dodatkowo rozszerzone o analizy zmian składu enancjomerów w przypadku chiralnych substancji farmaceutycznych i SARS-CoV-2 RNA (w okresie pandemii).

Pragnę podziękować Pani dr inż. Dagmarze Kempieńskiej-Kupczyk. Jej dociekliwość naukowa oraz skrupulatność przyczyniły się do uzyskania wyników będących podstawą prezentowanej tematyki.

W8

Zastosowanie saponin roślinnych jako bioenhancerów dla antybiotyków – implikacje dla środowiskowej oceny ryzyka farmaceutyków

Aleksandra Makiej¹, Wojciech Smulek¹, Ewa Kaczorek¹

¹ Politechnika Poznańska, Wydział Technologii Chemicznej, 61-131 Poznań, ul. Berdychowo 4

aleksandra.makiej@doctorate.put.poznan.pl

Antybiotyki, mimo ich kluczowej roli w ochronie zdrowia ludzi i zwierząt, stały się istotnym czynnikiem obciążającym środowisko. Ich obecność w wodach powierzchniowych i osadach ściekowych, nawet w śladowych stężeniach, sprzyja selekcji opornych szczepów i stanowi poważne zagrożenie ekologiczne¹. Jedną z obiecujących strategii ograniczania emisji farmaceutyków do środowiska jest zastosowanie bioenhancerów, tj. naturalnych związków wspomagających działanie substancji aktywnych farmaceutycznie, takich jak antybiotyki. Odpowiedni dobór biowzmacniacza do konkretnego antybiotyku mógłby pozwolić na obniżenie dawki terapeutycznej leku, a w konsekwencji do ograniczenia rozprzestrzeniania antybiotykooporności w ekosystemach.

W przeprowadzonym badaniu oceniono potencjał ekstraktu roślinnego zawierającego saponiny triterpenoidowe, jako adiuwanta dla antybiotyku dostępnego na rynku. Analizie poddano szczepy bakteryjne zarówno Gram(+), jak i Gram(-), a efekty oceniano z wykorzystaniem testów aktywności metabolicznej szczepów, przepuszczalności ich błon komórkowych, wizualizacji z wykorzystaniem mikroskopii konfokalnej oraz obrazowania TEM, a także analizując wyniki lipidomiczne. Zastosowanie wyselekcjonowanego połączenia antybiotyku z adiuwantem skutkowało pogłębionym uszkodzeniem błon komórkowych w porównaniu do działania samego antybiotyku na wybrane komórki bakteryjne. Dodatkowo, analiza lipidomiczna wykazała adaptacyjne zmiany w strukturze błon. Przyszłościowe zmniejszenie wymaganej dawki antybiotyku w wyniku synergii z bioadiuwantem wskazuje na potencjał środowiskowy tej strategii, mniejsze zużycie antybiotyków to mniej pozostałości w ściekach i osadach oraz mniejsza presja selekcyjna w środowisku.

Badanie to może stanowić punkt wyjścia do rozwoju badań nad adiuwantami pochodzenia roślinnego wspierających zrównoważone podejście w farmacji. W kontekście dyrektywy ściekowej UE oraz wymogów dotyczących monitoringu i ograniczania obecności substancji farmaceutycznych w wodach, proponowane podejście otwiera perspektywę wykorzystania biodegradowalnych, naturalnych surfaktantów jako narzędzi wspomagających zarówno leczenie, jak i strategię środowiskowe.

Podziękowania

Badania sfinansowane dzięki Narodowemu Centrum Nauki, grant nr 2020/39/B/NZ9/03196.

¹ M. Zhang, J. Hou, J. Xia, J. Wu, L. Miao, B. Lv, D. Ji, *Sci. Total Environ.* **2023**, 903, 166485.

W9

Barwniki farmakologicznie czynne w środowisku i ich wpływ na zdrowie ludzi i ekosystemy

Kamila Mitrowska¹, Katarzyna Sielska¹, Angelika Tkaczyk-Wlizło^{1,2}

¹ Państwowy Instytut Weterynaryjny - Państwowy Instytut Badawczy, Dział Badań Chemicznych Żywności i Pasz, 24-100 Puławy, al. Partyzantów 57

² Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Instytut Biologicznych Podstaw Produkcji Zwierzęce, Zakład Genetyki Ogólnej i Molekularnej, 20-950 Lublin, ul. Akademicka 13

kamila.mitrowska@piwet.pulawy.pl

Barwniki farmakologicznie czynne, takie jak zieleń malachitowa, fiolet krystaliczny czy błękit metylenowy, stanowią szczególną grupę zanieczyszczeń środowiska. W medycynie człowieka wykorzystywane są głównie jako środki antyseptyczne, natomiast w weterynarii znajdują zastosowanie w zwalczaniu patogennych grzybów, pierwotniaczych ektopasożytów i bakterii u ryb, mięczaków oraz skorupiaków. Pomimo wysokiej skuteczności, związki te nigdy nie zostały dopuszczone w Unii Europejskiej do stosowania u zwierząt przeznaczonych do produkcji żywności ze względu na potencjalne działanie rakotwórcze.

Ze względu na intensywne właściwości barwiące, barwniki te wykorzystywane są również w wielu gałęziach przemysłu, m.in. włókienniczym, garbarskim, kosmetycznym i spożywczym. Ich wielkoskalowa produkcja oraz szerokie spektrum zastosowań sprzyjają przenikaniu do środowiska wodnego, zarówno bezpośrednio, jak i pośrednio, poprzez oczyszczalnie ścieków, w których nie są skutecznie usuwane. Do tej pory wykrywano je w ściekach komunalnych i przemysłowych, wodach powierzchniowych, osadach dennych oraz w tkankach ryb dziko żyjących i hodowlanych.

Obecność barwników farmakologicznie czynnych w środowisku wodnym stwarza istotne zagrożenie ekologiczne i zdrowotne, co uzasadnia konieczność opracowywania czułych metod ich oznaczania i prowadzenia systematycznego monitoringu jakości wód.^{1,2}

W prezentacji przedstawione zostaną źródła barwników farmakologicznie czynnych obecnych w środowisku, ich dystrybucja oraz występowanie w wodach powierzchniowych, a także omówione zostaną potencjalne implikacje ich obecności zarówno dla ekosystemów, jak i zdrowia człowieka.

Badania zostały częściowo sfinansowane przez Państwowy Instytut Weterynaryjny- Państwowy Instytut Badawczy w Puławach w ramach „Funduszu badań własnych PIWet-PIB” przyznanego na projekt nr F/125.

¹ A. Tkaczyk, K. Mitrowska, A. Posyniak, *Sci Total Environ*, **2020**, 717, 137222.

² A. Tkaczyk-Wlizło, K. Mitrowska, *Chemosphere*, **2023**, 313, 137432.

W10

**Metody intensyfikacji procesów usuwania farmaceutyków
w hydrofitowych oczyszczalniach ścieków***Adam Sochacki*

Czech University of Life Sciences Prague (ČZU), Faculty of Environmental Sciences,
Kamýcka 129, 165 00 Praga Suchbát, Czechy

sochacki@fzp.czu.cz

Hydrofitowe oczyszczalnie ścieków (HOŚ) to systemy naśladujące działanie naturalnych mokradeł. Układy te wykorzystuje się przede wszystkim do oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych w mniejszych miejscowościach. HOŚ odgrywają jednak coraz większą rolę w miastach np. przy oczyszczaniu spływów powierzchniowych lub szarych ścieków przed ich ponownym wykorzystaniem. Substancje farmaceutyczne były wykrywane w surowych ściekach bytowo-gospodarczych oczyszczanych przy pomocy HOŚ^{1,2}. Substancje z grupy mikrozanieczyszczeń (40 substancji) w tym farmaceutyki wykryto również w szarych ściekach na terenie kampusu ČZU.

Metody intensyfikacji procesów usuwania farmaceutyków w HOŚ to zastosowanie mieszanych oksydcyjnych-anoksydcyjnych warunków (np. przez częściowe podtopienia złoża jak wykazano w badaniach wstępnych³), wprowadzenia dodatkowego źródła węgla, czy zastosowanie materiałów wspomagających sorpcję lub utlenianie-redukcję substancji (biowęgiel (*biochar*), tlenki manganu, granulowane wodorotlenki żelaza i stalowe opiłki).

W serii przeprowadzonych badań w modelowych HOŚ badano wpływ wymienionych metod intensyfikacji usuwania farmaceutyków i innych mikrozanieczyszczeń (26-30 substancji) ze ścieków bytowo-gospodarczych lub z szarych ścieków. Ogólnie, stopień usunięcia substancji był o ok. 30% wyższy w niezatopionych (oksydcyjnych) HOŚ. Zastosowanie dodatkowego źródła węgla (trocin z brzozy) pozwoliło zwiększyć stopień usunięcia o 15%.

Do grupy trudnorozkładalnych substancji (stopień usunięcia < 39%) zaliczono furosemid, diklofenak, hydrochlorotiazyd, gemfibrozil, ketoprofen, karbamazepinę, lamotryginę i flukonazol. Zastosowanie materiałów na bazie manganu lub żelaza pozwoliło na zwiększenie stopnia usunięcia tych substancji, z wyjątkiem trzech ostatnich związków. W dodatkowych badaniach wykazano, że zwiększone usunięcie flukonazolu i karbamazepiny jest możliwe w zatopionym złożu wspomaganym stalowymi opiłkami jako czynnikiem o charakterze redukującym. Kolejnym etapem badań będzie porównanie efektywności HOŚ o niezatopionym złożu, w sposób symultaniczny, w pełnej i modelowej skali (wspomaganych materiałami na bazie żelaza i manganu, i biowęglem) z zastosowaniem ścieków rzeczywistych w miejscowości Pálec w Czechach.

Badania były częściowo finansowane z projektu Naturebiopromo (Partnerství pro biodiverzitu (Biodiversa+),
Technologická agentura České republiky)

¹ Vymazal, J., Březinová, T. D., Koželuh, M., & Kule, L. *Ecol Eng*, **2017**, 98, 354-364.

² Šereš, M., Černá, T., Hnátková, T., Rozkošný, M., Grasserová, A., Semerád, J., ... & Cajthaml, T. *Water Sci Technol*, **2025**, 91(7), 876-892.

³ Ren, T., Perdana, M. C., Kříženecká, S., Sochacki, A., & Vymazal, J. *Chemosphere*, **2023**, 314, 137645.

W11

Analiza zmienności czasoprzestrzennej stężeń wybranych leków przeciwbólowych i przeciwzapalnych w rzece Słupi

Marcin Stec¹, Patrycja Gierłowska¹, Aleksander Astel¹, Katarzyna Kamińska²

¹ Uniwersytet Pomorski w Słupsku, Instytut Geografii, 76-200 Słupsk, ul. Arciszewskiego 22a

² „Wodociągi Słupsk” Sp. z o.o., 76-200 Słupsk, ul. Elizy Orzeszkowej 1

marcin.stec@upsl.edu.pl

Leki przeciwbólowe i przeciwzapalne należą do jednych z najczęściej stosowanych farmaceutyków na świecie¹. Wynika to z ich dostępności bez recepty, wzrostu praktyk samoleczenia² oraz intensywnych działań marketingowych promujących ich skuteczność i bezpieczeństwo³. Po spożyciu farmaceutyki są wydalone z organizmu w postaci niezmiennionej oraz metabolitów, które trafiają do ścieków. Konwencjonalne procesy oczyszczania ścieków nie są w pełni skuteczne w eliminacji tego typu zanieczyszczeń. W konsekwencji część farmaceutyków trafia do wód powierzchniowych stanowiąc potencjalne zagrożenie dla organizmów wodnych^{4,5}. Pomimo wzrostu liczby badań potwierdzających obecność leków przeciwbólowych i przeciwzapalnych w ściekach i wodach powierzchniowych, w literaturze naukowej wciąż brakuje długoterminowych analiz uwzględniających zmienność sezonową oraz dystrybucję tych farmaceutyków w ekosystemach wodnych^{6,7}.

Celem niniejszego badania była analiza zmienności czasoprzestrzennej stężeń wybranych leków przeciwbólowych i przeciwzapalnych w wodach rzeki Słupi, która uchodzi do Morza Bałtyckiego. Próbkę pobierano sezonowo ze stanowisk zlokalizowanych powyżej i poniżej oczyszczalni ścieków w Słupsku, obejmujących łącznie 15 km odcinek rzeki. Dodatkowo pobrano próbki ścieków surowych i oczyszczonych, aby ocenić wpływ oczyszczalni na poziom zanieczyszczenia rzeki tymi substancjami. Próbkę przygotowano z zastosowaniem ekstrakcji do fazy stałej (SPE). Analizę chemiczną przeprowadzono przy użyciu wysokosprawnej chromatografii cieczowej z detektorem diodowym (UHPLC-DAD)⁸. Badaniami objęto siedem farmaceutyków tj. diklofenak, ibuprofen, ketoprofen, naproksen, paracetamol, kwas acetylosalicylowy i kwas salicylowy, które charakteryzują się wysokim poziomem stosowania w Polsce.

Uzyskane wyniki wykazały obecność badanych farmaceutyków zarówno w próbkach ścieków surowych i oczyszczonych, jak i we wszystkich punktach pomiarowych rzeki Słupi. Najwyższe stężenia notowano w sezonie jesienno-zimowym. Analiza zmienności przestrzennej wykazała wyraźny wzrost stężeń farmaceutyków na stanowiskach zlokalizowanych poniżej oczyszczalni ścieków. Pomimo że średnia redukcja ładunku tych zanieczyszczeń w procesie oczyszczania ścieków wynosiła od 80% do ponad 90%, oczyszczalnia stanowi istotne źródło farmaceutyków uwalnianych do rzeki Słupi.

¹ S. Wongrakpanich, A. Wongrakpanich, K. Melhado, J. Rangaswami, *Aging Dis*, **2018**, 9(1), 143-150

² K. Kłoda, M. Babicki, A. Biesiada, M. Gałązka-Sobotka, I. Kowalska-Bobko, A. Mastalerz-Migas, *Front Pharmacol*, **2024**, 13(15), 1413811

³ M. Jakimowicz-Tylicka, M. Chmielewski, I. Kuźmiuk-Glembin, P. Skonieczny, G. Dijakiewicz, G. Zdrojewska, B. Rutkowski, L. Tylicki, A. Dębska-Ślizień, *Eur J Transl Clin Med*, **2018**, 1(2), 11-16

⁴ K. Ślósarczyk, S. Jakóbczyk-Karpierz, J. Różkowski, A.J. Witkowski, *Water*, **2021**, 13(16), 2283

⁵ Harashkova D., Aksmann A. *Kosmos*, **2019**, 68(322), 185-194.

⁶ O.I. González Peña, M.Á. López Zavala, H. Cabral Ruelas, *Int J Environ Res Public Health*, **2021**, 18, 2532

⁷ S. Letsinger, P. Kay, S. Rodríguez-Mozaz, M. Villagrassa, D. Barceló, J.M. Rotchell, *Sci Total Environ*, **2019**, 678, 74-84

⁸ M. Stec, A. Astel, K. Kamińska. *Ecohydrology & Hydrobiology*, **2025**, 100642

W12

Mobilna instalacja pilotowa do oceny efektywności czwartego stopnia oczyszczania ścieków*Marek Swinarski¹*

¹ Gdańska Infrastruktura Wodociągowo-Kanalizacyjna SP. z o.o., 80-122 Gdańsk, ul. Kartuska 201

mswinarski@giwk.pl

Mikrozanieczyszczenia organiczne w ściekach są coraz częściej rozpoznawane jako problem środowiskowy i zdrowia publicznego ze względu na ich powszechne występowanie oraz niekorzystny wpływ na zdrowie ludzi i środowisko. Pochodzą one z różnych źródeł przemysłowych i antropogenicznych, a ze względu na swoją trwałość, zdolność do bioakumulacji oraz aktywność biologiczną w niskich stężeniach stanowią istotne wyzwanie ekologiczne i zdrowotne.

Jednym z głównych punktowych źródeł emisji mikrozanieczyszczeń są oczyszczalnie ścieków. Chociaż nowoczesne oczyszczalnie są bardzo skuteczne w usuwaniu typowych związków organicznych i substancji biogennych, często okazują się niewystarczające w eliminacji mikrozanieczyszczeń. Wynika to z różnorodnych struktur chemicznych i właściwości mikrozanieczyszczeń organicznych, które czynią je odpornymi na konwencjonalne procesy oczyszczania. W konsekwencji ścieki oczyszczone, odprowadzane do środowiska, mogą nadal zawierać wiele biologicznie czynnych związków, zdolnych do zakłócania funkcjonowania ekosystemów wodnych oraz stwarzających długoterminowe zagrożenie dla zdrowia ludzi poprzez ekspozycję środowiskową.

Aby skuteczniej chronić zdrowie ludzi i środowisko, w listopadzie 2024 roku Unia Europejska przyjęła znowelizowaną Dyrektywę 2024/3019 dot. oczyszczania ścieków komunalnych, która oprócz głębszego usuwania biogenów, wprowadza bardziej rygorystyczne wymagania dotyczące monitorowania i eliminacji mikrozanieczyszczeń ze ścieków komunalnych. Mając na uwadze konieczność rozbudowy oczyszczalni o czwarty stopień oczyszczania, przeprowadzone zostały na oczyszczalni ścieków Gdańsk-Wschód badania pilotowe efektywności usuwania mikrozanieczyszczeń ze ścieków odprowadzanych do środowiska. Wyniki badań potwierdziły wysoką skuteczność usuwania mikrozanieczyszczeń w procesie filtracji tkaninowej, ozonowania i sorpcji na węglu aktywnym. Redukcja mikrozanieczyszczeń regulowanych przez Dyrektywę wyniosła od 89% do 100% dla dawki ozonu 1,0 g O₃ na 1 g rozpuszczonego węgla organicznego, czasu kontaktu ścieków z ozonem 30 minut, oraz czasu kontaktu z węglem aktywnym 20 minut.

Test pilotażowy przeprowadzono w ramach projektu EMPEREST, współfinansowanego przez Interreg Baltic Sea Region.

W13

Przydatność autorskiej szczepionki bakteryjnej do usuwania substancji farmaceutycznych ze ścieków

Marlena Szumska¹, Iwona Bartosiewicz¹, Magdalena Trzcińska¹

¹ Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Badań Środowiskowych, Laboratorium Ekotoksykologii, 02-791 Warszawa, ul. Trószńskiego 9

marlena.szumska@ios.edu.pl

Przeprowadzone dotychczasowe liczne badania naukowe^{1,2,3} dowodzą niski poziom eliminacji farmaceutyków w procesie oczyszczania ścieków i w konsekwencji ich uwalnianie do wód w postaci niezmienionej lub częściowo rozbitej na aktywne metabolity⁴. Napływ na teren oczyszczalni ładunków zanieczyszczeń farmaceutycznych, z którymi konwencjonalny proces oczyszczania ścieków nie do końca jest sobie w stanie poradzić, stanowi ogromne wyzwanie technologiczne dla eksploatorów. Szacuje się, że współczynnik eliminacji sumy farmaceutyków w oparciu o konwencjonalny osad czynny plasuje się na poziomie poniżej 20 %⁵. Niska skuteczność procesu oczyszczania ścieków wynika głównie z niedostosowania lub braku zdolności bakterii bytujących w konwencjonalnym osadzie czynnym do rozkładu bardzo skomplikowanych cząstek farmaceutyków. Większą skuteczność w oczyszczaniu ścieków z farmaceutyków można uzyskać z zastosowaniem zaawansowanych procesów technologicznych, jednak ich wdrażanie i użytkowanie jest również bardzo kosztowne. Dlatego równie zasadne wydają się próby zwiększenia skuteczności biodegradacyjnej osadu czynnego.

W związku z powyższym w Zakładzie Ekotoksykologii IOŚ-PIB w latach 2020-2022 podjęto prace nad opracowaniem autorskiej szczepionki dedykowanej rozkładowi bardzo trudno degradujących leków, m.in. karbamazepiny, kwasu klofibrowego i atenololu. Szczepionkę używano jako inokulum w warunkach testów biodegradacyjnych zgodnie z metodyką OECD 301C MITI oraz w testach biodegradacji bioreaktorowej w oparciu o metodykę OECD 302B.

Dotychczasowo wykonane badania pozwoliły stwierdzić zwiększenie biodegradacji karbamazepiny (w stosunku do wartości określanych w badaniach naukowych), ze średnio 5% do poziomu 19 % (dla stężenia 100 mg/L), 31% (dla stężenia 10 mg/L) i 27% (dla stężenia 1 mg/L). Wykazano natomiast, że kwas klofibrowy jedynie w niewielkim stopniu podlegał procesowi biodegradacji na poziomie 6,96 – 16,22% w biodegradacji MITI oraz 11,40 – 17,20% w biodegradacji bioreaktorowej. Obiecujące wyniki uzyskano natomiast dla atenololu. Tutaj poziom redukcji związku w procesie biodegradacji MITI wynosił od 44,70% (dla stężenia 100 mg/L), przez 96,03% (dla stężenia 10 mg/L) do 99,11% (dla stężenia 1 mg/L). Należy nadmienić, że biodegradacja abiotyczna atenololu (bez bakterii szczepionkowych) stanowiła w doświadczeniu MITI jedynie 4,26 – 5,77%. W badaniach w oparciu o metodykę OECD 302B również wykazano wysoką redukcję związku do poziomu 98,27 – 99,98%.

¹ Herberer T. *Toxicol. Lett.* **2002**, 131/1-2, 5-17.

² Tauxe-Wuersch A. Alencastro LFD., Granjean D., Terradellas J. *Water Res.* **2005**, 39/9, 1761-1772

³ Pampanin D.M. i inni. *Front. Environ. Sci. Eng.* **2024**, 18(9):113.

⁴ Carballa M. Fink G., Omil F., Lema J., Ternes T. *Water Res.* **2008**, 42, 287-295.

⁵ Spisbury F. Kisieliński V., Bester K., Backhaus T. *Sci. Total Environ.* **2024**, 906, 167440.

W14

Popularyzacja właściwej utylizacji farmaceutyków – o kampanii „Leki do Apteki – Świat w Twoich rękach”

Paulina Tchurzewska

NEUCA S.A., Obszar Komunikacji, 87-100 Toruń, ul. Forteczna

paulina.tchurzewska@neuca.pl

W swoim wystąpieniu przedstawię problematykę zanieczyszczenia środowiska farmaceutykami z perspektywy kampanii „Leki do Apteki – Świat w Twoich rękach” – pierwszej tego typu kampanii w Polsce – zorganizowanej przez przedstawicieli branży farmaceutycznej (NEUCA S.A. i Świat Zdrowia, Polpharma, Adamed Pharma, Teva Pharmaceuticals Polska, Zentiva) we współpracy ze środowiskiem naukowym (Wydział Chemii Uniwersytetu Gdańskiego). Opowiem o społecznym kontekście pierwszej takiej akcji w Polsce, która zjednoczyła pacjentów, farmaceutów i producentów farmaceutycznych wokół wspólnego, społecznie ważnego celu, jakim jest prawidłowa utylizacja leków.

Badania potwierdzają zanieczyszczenie wód gruntowych i gleby lekami, skąd trafiają one do pożywienia i naszych organizmów. To konsekwencja niewłaściwego postępowania z niewykorzystanymi lub przeterminowanymi produktami aptecznymi – 60 proc. Polaków wyrzuca niepotrzebne farmaceutyki do kosza na śmieci, 28 proc. – do toalety. W odpowiedzi na ten problem ww. firmy, reprezentujące różne obszary branży farmaceutycznej, stworzyły dwuetapową kampanię, której pierwszym filarem była edukacja i zwiększenie świadomości problemu w społeczeństwie, a drugim – wyposażenie aptek w przemyślane i specjalnie zaprojektowane narzędzia, które ułatwiają proces segregacji i utylizacji farmaceutyków – zwłaszcza, że zdecydowana większość pacjentów wskazuje właśnie aptekę jako właściwe miejsce do oddania przeterminowanych leków.

Chcąc zarysować charakterystykę tego problemu, przedstawię wnioski z dwóch etapów kampanii, również z perspektywy farmaceutów i pacjentów – co pozwoli zastanowić się nad skutecznymi strategiami działania, które pozwolą zbudować trwałe nawyki związane z utylizacją farmaceutyków. Zarysuję także plany dotyczące kolejnych działań w ramach akcji „Leki do Apteki – Świat w Twoich rękach”, wskazując nowe możliwości popularyzacji tego ważnego tematu.

W15

Funkcjonalizowane polimery aromatyczne do usuwania farmaceutyków z wody – właściwości, możliwości i perspektywy zastosowania

Joanna Wolska¹, Marcin Frankowski¹, Jacek Jencyk², Łukasz Wolski¹

¹ Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Chemii,
61-614, Poznań, ul. Uniwersytetu Poznańskiego 8

² Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Centrum NanoBioMedyczne,
61-614, Poznań, ul. Wszechnicy Piastowskiej 3

j.wolska@amu.edu.pl

Powszechna obecność farmaceutyków w środowisku stanowi dziś jedno z najpoważniejszych i najintensywniej dyskutowanych problemów z punktu widzenia ochrony zdrowia człowieka. Skala tego problemu dynamicznie rośnie, potęgując ryzyko rozwoju odporności patogenów na działanie tych związków chemicznych. W obliczu tej sytuacji poszukiwanie względnie tanich i skutecznych metod usuwania zanieczyszczeń farmaceutycznych z wód staje się priorytetem. Wśród dostępnych technologii szczególne obiecujące są techniki adsorpcyjne. Obecne kierunki badań w tym zakresie koncentrują się na opracowaniu innowacyjnych materiałów adsorpcyjnych, które łączą w sobie wysoką efektywność z odpornością chemiczną, możliwością wielokrotnego użycia oraz precyzyjnie dostosowanymi właściwościami powierzchniowymi, umożliwiającymi efektywne usuwanie specyficznych klas zanieczyszczeń. Odpowiedziom na te wymagania z powodzeniem mogą być wysoko usieciowane polimery (HCP, z ang. *hyper-cross-linked polymers*), wyróżniające się dużą powierzchnią właściwą, kontrolowaną porowatością oraz wyjątkową podatnością na modyfikacje chemiczne.

Wyniki badań uzyskane na przestrzeni kilku ostatnich lat potwierdzają, że wprowadzanie określonych grup funkcyjnych – sulfonowych^{1,2}, aminowych³, karbonylowych³ czy fosforanowych(V)⁴ – do struktury HCP umożliwia projektowanie materiałów o precyzyjnie ukierunkowanych właściwościach adsorpcyjnych, zdolnych do selektywnego wychwytywania wybranych farmaceutyków z wody. Dodatkowo wyniki te wskazują, że grupy funkcyjne pełnią rolę kluczowych centrów adsorpcji, determinujących zarówno efektywność, jak i selektywność procesu. Podkreślają również, że odpowiednie rozmieszczenie oraz liczba takich centrów w sieci polimerowej mogą znacząco zwiększyć pojemność adsorpcyjną materiałów, skracać czas trwania adsorpcji, a przede wszystkim umożliwiać skuteczne usuwanie nawet śladowych ilości substancji tak istotnych, jak antybiotyki czy niesteroidowe leki przeciwzapalne. Ukierunkowana funkcjonalizacja adsorbentów na bazie HCP nie tylko odpowiada na aktualne wyzwania w oczyszczaniu wód, lecz także wyznacza kierunek rozwoju zaawansowanych materiałów adsorpcyjnych, których opracowanie w warunkach laboratoryjnych może w przyszłości realnie wspierać rozwój technik efektywnego i selektywnego usuwania wybranych zanieczyszczeń z wody.

Autorzy dziękują Narodowemu Centrum Nauki za wsparcie finansowe badań prowadzonych w ramach projektu Sonata nr 2023/51/D/ST5/00216, a także za dofinansowanie uzyskane w ramach projektu ID-UB nr 140/04/POB3/0018.

¹ J. Wolska, M. Muńko, H. EL Siblani, I. Telegeiev, M. Frankowski, A. Szwajca, J. Walkowiak-Kulikowska, M. El-Roz, L. Wolski, *J Environ Chem Eng*, **2023**, 11, 110429.

² J. Wolska, M. Frankowski, J. Jencyk, L. Wolski, *Sep Purif Technol*, **2024**, 343, 127147.

³ J. Wolska, J. Jencyk, M. Zieliński, J. Walkowiak-Kulikowska, A. Ziola-Frankowska, L. Wolski, *Environ Res*, **2025**, 268, 120791.

⁴ J. Wolska, A. Ziola-Frankowska, J. Jencyk, A. Zaleta, K. Sobańska, P. Pietrzyk, L. Wolski, *Sep Purif Technol*, **2025**, 367, 132846.

W16

Nanomateriały na bazie tlenku niobu(V) i ich zastosowanie do usuwania wybranych antybiotyków z wody

Łukasz Wolski¹, Konrad Baran¹, Kamila Sobańska², Malwina Muńko³, Adrian Czerniak³, Anetta Ziola-Frankowska¹, Piotr Pietrzyk², Marcin Frankowski¹

¹ Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Chemii, 61-614 Poznań, ul. Uniwersytetu Poznańskiego 8

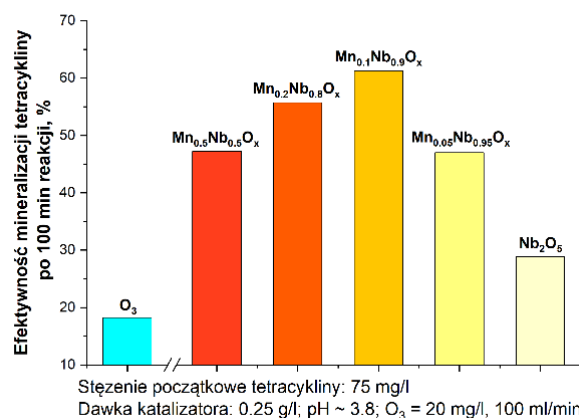
² Uniwersytet Jagielloński, Wydział Chemii, 30-387 Kraków, ul. Gronostajowa 2

³ Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Centrum Zaawansowanych Technologii, 61-614 Poznań, ul. Uniwersytetu Poznańskiego 10

wolski.lukasz@amu.edu.pl

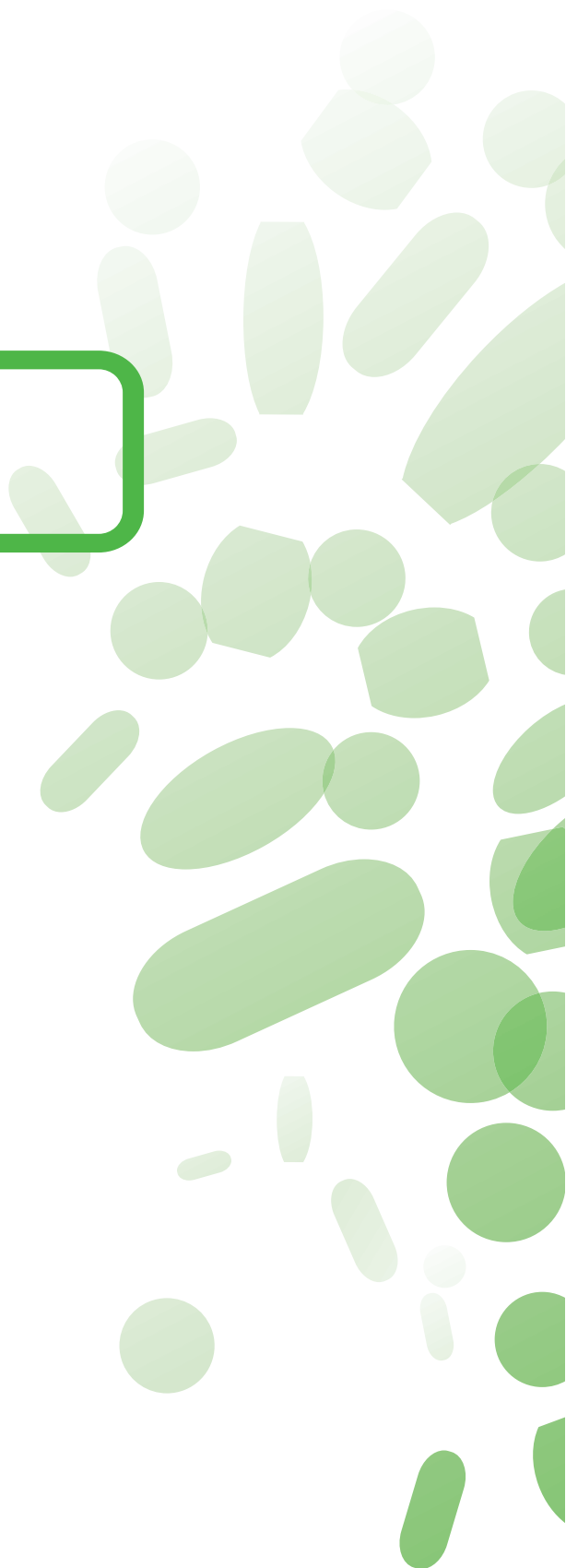
Postępujący rozwój cywilizacyjny oraz uprzemysłowienie, a także znaczący wzrost produkcji i konsumpcji środków farmaceutycznych przyczyniają się do coraz większej presji środowiskowej i nasilającej się degradacji zasobów wodnych. W związku z tym w ostatnich latach coraz więcej uwagi poświęca się działaniom mającym na celu zmniejszenie ilości zanieczyszczeń uwalnianych do środowiska. Podejmowane w tym zakresie działania obejmują poszukiwanie nowych i efektywnych metod oczyszczania ścieków przemysłowych i komunalnych na drodze adsorpcji, czy też metod chemicznych, polegających na utlenianiu/mineralizacji zanieczyszczeń.

Przedmiotem badań jest przedstawienie możliwości zastosowania nanomateriałów na bazie tlenku niobu(V) do usuwania wybranych antybiotyków z wody. Prezentowane wyniki dotyczą przede wszystkim wykorzystania katalizatorów niobowych oraz manganowo-niobowych w procesach utleniania z użyciem nadtlenu wodoru lub ozonu, ale istotna uwaga zostanie również poświęcona omówieniu możliwości zastosowania Nb_2O_5 jako obiecującego adsorbentu, który może być regenerowany w łatwy i przyjazny dla środowiska sposób poprzez naświetlanie promieniowaniem ultrafioletowym. W przypadku procesów degradacji szczególna uwaga poświęcona będzie analizie efektywności mineralizacji wybranych zanieczyszczeń na drodze katalitycznego ozonowania w obecności katalizatorów na bazie mieszanych tlenków manganowo-niobowych (Rys.1), identyfikacji głównych produktów utlenienia oraz określeniu ich aktywności biologicznej.



Rys. 1. Efektywność mineralizacji tetracykliny na drodze katalitycznego ozonowania z wykorzystaniem nanomateriałów na bazie Nb_2O_5 i mieszanych tlenków manganowo-niobowych o różnym składzie.

POSTERY



P1

Występowanie antybiotyków rezerwowych w ściekach szpitalnych

Sylwia Bajkacz¹, Joanna Wilk¹, Ewa Felis², Monika Harnisz³, Ewa Korzeniewska³

¹ Politechnika Śląska, Wydział Chemiczny, 44-100 Gliwice, ul. Krzywoustego 6

² Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, 44-100 Gliwice,
ul. Akademicka 2A

³ Uniwersytet Warmińsko Mazurski, Wydział Geoinżynierii, 10-719 Olsztyn,
ul. Prawocheńskiego 1/9

sylwia.bajkacz@polsl.pl

Karbapenemy, należące do grupy β -laktamów, stanowią jedną z najważniejszych sposobów terapeutycznych w leczeniu zakażeń wywołanych przez bakterie wielolekooporne. Ze względu na ich kluczowe znaczenie w medycynie szpitalnej, Światowa Organizacja Zdrowia umieściła je w kategorii *Reserve* w ramach klasyfikacji AWaRe, obejmującej antybiotyki wymagające szczególnej ochrony przed utratą skuteczności. Do tej grupy należą m.in. meropenem i imipenem stosowane w połączeniu z inhibitorami vaborbaktamem, cilastatyną i relebaktamem.

Celem niniejszego badania było określenie obecności karbapenemów z grupy *Reserve* w ściekach pochodzących z 64 polskich szpitali. Próbkę pobierano w dwóch porach roku, następnie analizy wydzielano z wykorzystaniem ekstrakcji w fazie stałej (SPE) oraz oznaczano z zastosowaniem chromatografii cieczowej sprzężonej z tandemową spektrometrią mas (LC-MS/MS). Pozostałości antybiotyków rezerwowych wykryto w ponad 90% analizowanych próbek. Stężenia mieściły się w zakresie od 23 ng/l do 830 ng/l, przy maksymalnym odnotowanym poziomie 17 μ g/l. Analizy statystyczne zostały wykorzystane do korelacji pomiędzy stężeniami karbapenemów, a charakterystyką szpitali, wielkością populacji pacjentów, regionalnym zużyciem leków oraz gęstością zaludnienia.

Uzyskane wyniki potwierdzają, że ścieki szpitalne stanowią istotne źródło emisji antybiotyków *Reserve* do środowiska. Podkreślają także potrzebę prowadzenia dalszych badań nad mechanizmami i czynnikami warunkującymi to zjawisko, co może w przyszłości umożliwić opracowanie skutecznych strategii ograniczających rozprzestrzenianie się pozostałości leków przeciwdrobnoustrojowych poza obszar placówek opieki medycznej.

Podziękowania: Badania finansowane były z projektu NCN (OPUS 23) nr 2022/45/B/NZ7/00793

Profil farmaceutyczny ścieków szpitalnych w Polsce – analiza ukierunkowana w ujęciu wielośrodowym

Sylwia Bajkacz¹, Joanna Wilk¹, Ewa Felis², Monika Harnisz³, Ewa Korzeniewska³

¹ Politechnika Śląska, Wydział Chemiczny, 44-100 Gliwice, ul. Krzywoustego 6

² Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, 44-100 Gliwice, ul. Akademicka 2A

³ Uniwersytet Warmińsko Mazurski, Wydział Geoinżynierii, 10-719 Olsztyn, ul. Prawocheńskiego 1/9

sylwia.bajkacz@polsl.pl

Farmaceutyki są obecnie powszechnie wykrywane zarówno w wodach powierzchniowych, jak i w glebach. Jednym z kluczowych źródeł ich emisji są ścieki szpitalne, w których stężenia leków znacząco przewyższają poziomy obserwowane w ściekach komunalnych. Nawet niewielkie ilości niektórych substancji mogą stanowić poważne zagrożenie dla organizmów wodnych i równowagi ekosystemów. W Polsce nie ma przepisów nakładających obowiązek budowy lokalnych oczyszczalni przy placówkach medycznych, a standardowe oczyszczalnie komunalne w większości nie są przystosowane do eliminacji farmaceutyków. W konsekwencji związku te dostają się do środowiska i ulegają dalszej dystrybucji. W świetle tych faktów ścieki szpitalne należy traktować nie tylko jako pierwotne źródło leków stosowanych w lecznictwie zamkniętym, lecz także jako istotny wektor wprowadzania do środowiska szerokiego spektrum farmaceutyków. Stanowią one zatem naturalny punkt wyjścia do badań monitorujących obecność i los tych mikrozanieczyszczeń.

Przedmiotem niniejszej pracy była analiza przesiewowa próbek ścieków pochodzących ze 64 publicznych szpitali zlokalizowanych we wszystkich województwach naszego kraju (po 3–5 placówek z każdego regionu). Badania obejmowały szerokie spektrum farmaceutyków reprezentujących różne grupy terapeutyczne, w tym leki przeciwbakteryjne, przeciwbólowe, hormonalne, onkologiczne oraz działające na ośrodkowy układ nerwowy. Próbkę pobierano w dwóch okresach – zimowym i letnim – a następnie przygotowywano z zastosowaniem ekstrakcji do fazy stałej (SPE). Oznaczenia prowadzono z zastosowaniem chromatografii cieczowej sprzężonej z tandemową spektrometrią mas (LC-MS/MS). Uzyskane wyniki, w zestawieniu z danymi demograficznymi poszczególnych regionów oraz charakterystyką badanych placówek, zostały poddane analizom statystycznym w celu identyfikacji zależności sezonowych oraz czynników zwiększających ryzyko wystąpienia zanieczyszczeń w danym obszarze.

Podziękowania: Badania finansowane były z projektu NCN (OPUS 23) nr 2022/45/B/NZ7/00793

P3

Obecność wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w jednorazowych pieluszkach dziecięcych: opracowanie metody oznaczania z wykorzystaniem ekstrakcji ciecz–ciecz wspomaganą efektem wysalania i chromatografii gazowej sprzężonej ze spektrometrią mas

Mariusz Belka¹, Paweł Georgiev¹, Tomasz Bączek¹, Justyna Płotka-Wasyłka^{2,3}

¹ Gdański Uniwersytet Medyczny, Wydział Farmaceutyczny, 80-416 Gdańsk, ul. J. Hallera 107

² Politechnika Gdańska, Wydział Chemiczny, 80-233 Gdańsk, ul. G. Narutowicza 11/12,

³ Politechnika Gdańska, Centrum Badawcze BioTechMed, 80-233 Gdańsk, ul. G. Narutowicza 11/12

mariusz.belka@gumed.edu.pl

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) należą do najliczniejszej klasy kancerogenów i mogą występować w artykułach codziennego użytku, w tym w pieluszkach jednorazowych. Z uwagi na bezpośredni i długotrwały kontakt z delikatną skórą niemowląt konieczne jest opracowanie czułych i wiarygodnych metod ich oznaczania. W pracy przedstawiono nową procedurę analityczną obejmującą kriogeniczną homogenizację próbek, ekstrakcję ciecz–ciecz wspomaganą efektem wysalania oraz zagęszczanie przez odparowanie. Analizy wykonano techniką chromatografii gazowej sprzężonej ze spektrometrią mas (GC–MS) z zastosowaniem deuterowanych standardów wewnętrznych i kalibracji matrycowej¹. Osiągnięto granice wykrywalności w zakresie 0,041–0,221 ng/g, znacząco poniżej progów uważanych za niebezpieczne. Metodę zwalidowano i zastosowano do 20 komercyjnych pieluszek dostępnych na polskim rynku. We wszystkich próbkach stwierdzono obecność WWA, przy czym skład ilościowy i jakościowy zależał od producenta. Najwyższe stężenia dotyczyły acenaftylenu (do 362 ng/g), natomiast najsłabiej reprezentowany był chryzen. Wyniki wskazują na potrzebę stałego monitorowania zawartości WWA w produktach higienicznych dla dzieci, zarówno z uwagi na bezpieczeństwo zdrowotne najmłodszych, jak i potencjalny wpływ środowiskowy po ich utylizacji.

¹ P. Georgiev, M. Belka, T. Bączek, J. Płotka-Wasyłka, *J Chromatogr A*, **2023**, Vol. 1698, 463981.

P4

Zastosowanie półprzewodników bizmutowych do usuwania leków przeciwnowotworowych w procesie fotokatalizy heterogenicznej

Aleksandra Bielicka-Giełdoń¹, Patrycja Wilczewska¹, Anna Malankowska², Ewa Maria Siedlecka¹

¹ Uniwersytet Gdański, Wydział Chemii, 80-308 Gdańsk, ul. Wita Stwosza 63

² Uniwersytet Gdański, Wydział Chemii, 80-308 Gdańsk, ul. Wita Stwosza 63

a.bielicka-gieldon@ug.edu.pl

Fotokataliza heterogeniczna z wykorzystaniem półprzewodnikowych nanocząstek może być bardzo przydatna w usuwaniu mikrozanieczyszczeń, szczególnie tam, gdzie konwencjonalne metody oczyszczania wód i ścieków nie są wystarczająco skuteczne. Jednakże nadal nie znajduje ona szerokiego praktycznego zastosowania ze względu na niską wydajność. Kluczową kwestią jest szybka rekombinacja fotoindukowanych nośników ładunku, która obniża potencjał pojedynczych fotokatalizatorów w degradacji mikrozanieczyszczeń. Aby rozwiązać ten problem, poszukuje się nowych strategii, w tym łączenia ze sobą różnych półprzewodników.

Półprzewodniki bizmutowe o strukturze warstwowej, w tym typu BiOX (X=Cl, Br, I), zaliczają się do bardzo perspektywicznych materiałów fotokatalitycznych o szerokim zastosowaniu ze względu na swoją nietoksyczność, dostępność prekursorów do ich wytwarzania, unikalne właściwości, stabilność oraz możliwość projektowania ich budowy w zależności od zastosowanych warunków syntezy.

W badaniach oceniono właściwości halogenków bizmutylu – BiOCl, BiOBr oraz BiOClBr otrzymanych metodą solwotermalną. Jako źródło halogenków do syntezy fotokatalizatorów wykorzystano sole nieorganiczne (KCl lub KBr) oraz ciecze jonowe (chlorek 1-butylo-3-metyloimidazoliowy lub bromek 1-butylo-3-metyloimidazoliowy). Aktywność fotokatalityczną otrzymanych nanomateriałów oceniono na podstawie szybkości usuwania ze środowiska wodnego trzech leków przeciwnowotworowych: 5-fluorouracylu (5-FU), imatynibu (IMA) oraz cyklofosfamidu (CP)^{1,2}.

¹ P. Wilczewska, A. Bielicka-Giełdoń, A. Fiszka Borzyszkowska, J. Ryl, T. Klimczuk, E.M. Siedlecka, *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.* **2019**, 382, 111932

² P. Wilczewska, A.E.N. Ona, A. Bielicka-Giełdoń, A. Malankowska, K. Tabaka, J. Ryl, F. Pniewski, E.M. Siedlecka, *Sep. Purif. Technol.* **2021**, 254, 117601

P5

Obecność antybiotyków rezerwowych w ściekach szpitalnych i ich korelacje z parametrami fizykochemicznymi

*Ewa Felis¹, Sylwia Bajkacz², Paulina Sowik¹, Joanna Wilk², Monika Harnisz³,
Ewa Korzeniewska³*

¹ Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, 44-100 Gliwice, ul. Akademicka 2

² Politechnika Śląska, Wydział Chemiczny, 44-100 Gliwice, ul. Krzywoustego 6

³ Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Wydział Geoinżynierii, 10-720 Olsztyn, ul. Prawocheńskiego 1

ewa.felis@polsl.pl

Antybiotyki rezerwowe, zwane także „antybiotykami ostatniej szansy”, to leki które mogą być stosowane tylko w warunkach szpitalnych, pod ścisłą kontrolą, gdy inne antybiotyki nie wykazują już skuteczności w leczeniu konkretnych infekcji. Lek ten charakteryzuje się szerokim spektrum działania, jednak ze względu na ryzyko rozwoju antybiotykooporności stosuje się go tylko w uzasadnionych przypadkach i zachowaniem dużej ostrożności. Przykładem takich leków są Linezolid oraz Aztreonam. Oba leki są stosowane w leczeniu różnego typu zakażeń wywołanych przez wielolekooporne szczepy bakterii, w tym leczeniu chorób układu oddechowego oraz infekcji skóry i tkanek miękkich.

Celem pracy było określenie potencjalnych korelacji stężeń Linezolidu oraz Aztreonamu w rzeczywistych ściekach szpitalnych, ze stężeniami innych parametrów tych ścieków jak OWO, NPOC, form azotu (tj. całkowitego, organicznego, amonowego, azotynowego, azotanowego), siarczanów, fosforanów oraz anionów (tj. F, Cl i Br). Wybrane antybiotyki rezerwowe, tak jak i pozostałe parametry, były kontrolowane w rzeczywistych ściekach szpitalnych, pobranych z 64 placówek medycznych z obszaru całej Polski, w roku 2024, w sezonie letnim i zimowym. Analizy badanych leków oraz pozostałych parametrów ścieków zostały wykonane z użyciem metod instrumentalnych, opisanych we współautorskich publikacjach¹. Badania wykazały, że Linezolid był obecny w próbkach z 42 placówek, bez względu na sezon, z maksymalnym stężeniem równym 22488,79 ng/L obserwowanym w sezonie zimowym. Aztreonam był obecny w ściekach z 32 szpitali w okresie letnim i 31 szpitali w okresie zimowym, z maksymalnym stężeniem 182,67 ng/L, zaobserwowanym w sezonie letnim. Wykonane analizy statystyczne wykazały, że dla próbek pobranych w okresie zimowych istniała słaba zależność liniowa pomiędzy stężeniem Linezolidu i azotu amonowego (wsp. r-Pearsona = 0,31) oraz umiarkowana zależność liniowa pomiędzy stężeniem Aztreonamu i fosforanów (wsp. r-Pearsona = 0,52), które można uznać za istotne statystyczne (przy $p = 0,05$). W przypadku pozostałych parametrów, uzyskane wartości wsp. r-Pearsona nie spełniają kryterium istotności statystycznej. Uzyskane wyniki wymagają dalszych, pogłębionych analiz, gdyż badano korelacje pomiędzy stężeniami parametrów i leków, bez uwzględnienia np. objętości powstających ścieków, pochodzących z oddziałów typowo medycznych. Takie analizy są planowane w przyszłości, jeżeli placówki medyczne udostępnią niezbędne do tego celu dane.

Praca sfinansowana z projektu NCN nr UMO-2022/45/B/NZ7/00793.

¹ J. Wilk, P. Sowik, E. Felis, M. Harnisz, E. Korzeniewska, S. Bajkacz, *Sci. Rep.*, **2025**, 15, nr 22163.

P6

Ocena ryzyka zdrowotnego związanego z obecnością farmaceutyków i bakterii lekoopornych w ściekach

Filip Gamoń¹, Małgorzata Szopińska¹, Sylwia Fudala-Książek¹, Aneta Łuczkiwicz¹

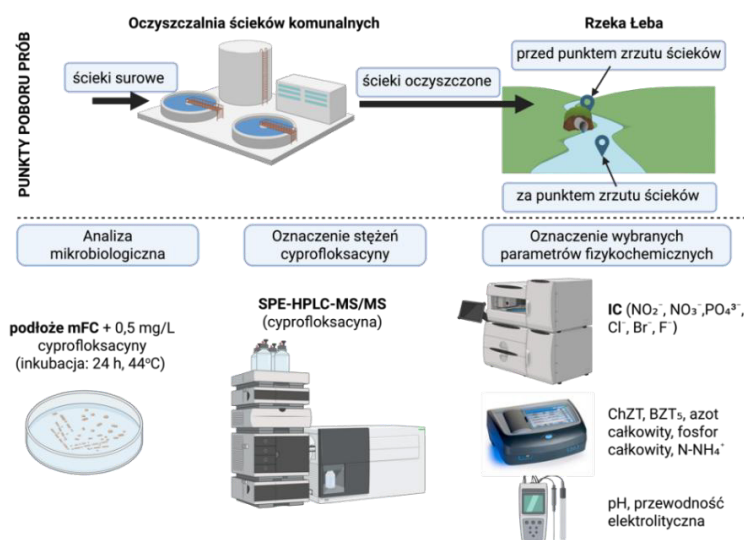
¹ Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, 80-233 Gdańsk, ul. G. Narutowicza 11/12

filip.gamon@pg.edu.pl

Oczyszczalnie ścieków odgrywają kluczową rolę w ograniczaniu emisji zanieczyszczeń, jednak wciąż stanowią istotne źródło mikrozanieczyszczeń, takich jak farmaceutyki i bakterie oporne na środki przeciwdrobnoustrojowe. Problem ten został uwzględniony w nowej dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady dotyczącej oczyszczania ścieków komunalnych (2024/3019 (COD)), która przewiduje m.in. konieczność wdrożenia czwartego stopnia oczyszczania w wybranych oczyszczalniach do 2045, w zależności od wyników oceny ryzyka.

W ramach pracy przeprowadzono szczegółową analizę fizykochemiczną i mikrobiologiczną ścieków surowych i oczyszczonych pochodzących z czterech oczyszczalni komunalnych o przepustowości poniżej 100 000 RLM (Tłuczewo, Lębork, Chmielno, Łeba). W próbkach oznaczono podstawowe parametry fizykochemiczne (N-NH_4^+ , N-NO_2^- , N-NO_3^- , PO_4^{3-} , Cl^- , Br^- , F^- , BZT₅ oraz ChZT), określono stężenie cyprofloksacyny (CIP) oraz liczebność *Escherichia coli*, w tym szczepów opornych na CIP. Szczegółowo metodykę przedstawiono na Rys.1.

W ściekach surowych stężenia CIP sięgały 563,2 ng/L, podczas gdy w wodach powierzchniowych były bardzo niskie lub poniżej granicy detekcji. Najwyższe zagęszczenie *E. coli* (130 000 jtk/mL) odnotowano w Lęborku, a we wszystkich próbkach potwierdzono obecność szczepów opornych na CIP. Na podstawie uzyskanych wyników potwierdzono, że ścieki komunalne, nawet po oczyszczeniu, mogą być źródłem farmaceutyków i bakterii lekoopornych, stanowiąc zagrożenie dla zdrowia ludzi, zwierząt i środowiska.



Rys. 1. Metodyka prowadzonych badań. Skróty: SPE– ekstrakcja do fazy stałej; HPLC-MS/MS – wysokosprawną chromatografię cieczą sprężoną z tandemową spektrometrią mas; IC – chromatografia jonowa; BZT₅ – pięciodobowe biologiczne zapotrzebowanie na tlen; CHZT – chemiczne zapotrzebowanie na tlen

Badania powstały w ramach projektu ARGENTUM IDUB realizowanym na Politechnice Gdańskiej, porozumienie 14/1/2023/IDUB/I3b/Ag z dnia 2024-04-22.

P7

Współoddziaływanie saponin z antybiotykami na błony fosfolipidowe

Adam Grzywaczyk¹, Ewa Kaczorek¹

¹ Politechnika Poznańska, Wydział Technologii Chemicznej,
61-131 Poznań, ul. Berdychowo 4

ewa.kaczorek@put.poznan.pl

Jednym z kluczowych aspektów interakcji antybiotyków z komórkami bakteryjnymi jest ich oddziaływanie z błoną komórkową. Zbudowana z fosfolipidów stanowi główną barierę między wnętrzem komórki a środowiskiem zewnętrznym. Stąd badanie procesów oddziaływania z nią antybiotyków jest istotne dla lepszego zrozumienia mechanizmów działania związków biobójczych. Cennym wsparciem dla tych badań są eksperymenty wykorzystujące błony biomimetyczne pozwalające na bardziej precyzyjne określenie zjawisk zachodzących w obrębie fosfolipidów.

Przedmiotem prezentowanych badań była ocena wpływu wybranych antybiotyków, w tym tobramycyny, na trójwymiarowe błony fosfolipidowe w postaci liposomów. Dodatkowym analizowanym czynnikiem było określenie, czy naturalne surfaktanty – saponiny – mogą modyfikować błonę czyniąc ją bardziej podatną na przenikanie przez nią antybiotyków. Modelowe błony lipidowe złożone z różnych fosfolipidów (DMPC, DPPC, DMPE i DPPE). Saponiny zostały wyodrębnione z korzenia mydlnicy lekarskiej (*Saponaria officinalis*) i lukrecji gładkiej (*Glycyrrhiza glabra*). Ponadto, w celu oceny potencjalnego wycieku i uszkodzenia pęcherzyków po leczeniu antybiotykiem i saponinami, przeprowadzono oddzielne eksperymenty z barwnikami HPTS lub 5(6)-CF zamkniętymi w liposomach.

W niniejszym badaniu wykazano, że saponiny modyfikują właściwości biofizyczne modelowych błon bakteryjnych, wpływając na ich interakcję z tobramycyną. Połączenie saponin i antybiotyku spowodowało zmiany w liposomach, ale nie wpłynęło na integralność błony. Zaobserwowano również wzmocniony wpływ na płynność błony (w stosunku do działania antybiotyku i saponin z osobna). Te modyfikacje biofizyczne sugerują potencjał saponin w zakresie wzmacniania interakcji antybiotyków z błonami bakteryjnymi, oferując obiecującą strategię zwiększenia skuteczności antybiotyków bez zwiększania dawki leku.

Badania zostały sfinansowane w ramach projektu 2020/39/B/NZ9/03196 finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki (NCN).

P8

Izolacja i charakterystyka szczepów bakteryjnych opornych na wybrane antybiotyki – wstępne wyniki projektu BALTIC-AMR z Polski

Ewa Kotlarska¹, Grzegorz Siedlewicz², Nikol Szeszuła³, Anna Baraniak⁴, Agnieszka Kociszewska⁴, Karolina Węgrzynowska⁴, Elias Eger⁵, Sebastian Guenther⁶, Karsten Becker⁷, Evgeny A. Idelevich⁷, Tanel Tenson⁸, Jonas Bonnedahl⁹, Jonas Waldenström¹⁰, Katharina Schaufler^{5,11}

¹ Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk, Zakład Genetyki i Biotechnologii Morskiej, 81-712 Sopot, ul. Powstańców Warszawy 55

² Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk, Zakład Chemii i Biochemii Morza, 81-712 Sopot, ul. Powstańców Warszawy 55

³ Politechnika Gdańska, Wydział Chemii, 80-222 Gdańsk, ul Narutowicza 11/12

⁴ Narodowy Instytut Leków, Zakład Mikrobiologii Farmaceutycznej i Diagnostyki Laboratoryjnej, 000-725 Warszawa, ul. Chełmska 30/34

⁵ Helmholtz Centre for Infection Research HZI, Helmholtz Institute for One Health, Epidemiology and Ecology of Antimicrobial Resistance, Greifswald, Germany

⁶ University of Greifswald, Pharmaceutical Biology, Institute of Pharmacy, Greifswald, Germany

⁷ University Medicine Greifswald, Friedrich Loeffler-Institute of Medical Microbiology, Greifswald, Germany

⁸ University of Tartu, Institute of Technology, Tartu, Estonia

⁹ Linköping University, Department of Biomedical and Clinical Sciences, Linköping, Sweden

¹⁰ Linnaeus University, Department of Biology and Environmental Science, Kalmar, Sweden

¹¹ University Medicine Greifswald, Greifswald, Germany

ekotlarska@iopan.pl

W obliczu narastającego zagrożenia, jakim jest wzrost oporności drobnoustrojów na środki przeciwdrobnoustrojowe, WHO opracowało koncepcję „Jedno Zdrowie” (One Health), uznającą nierozzerwalne zależności pomiędzy zdrowiem człowieka, zwierząt oraz stanem środowiska. Projekt BALTIC-AMR zakłada opracowanie racjonalnej, ponadnarodowej strategii dla państw członkowskich wokół Morza Bałtyckiego, umożliwiającej całościową analizę i przeciwdziałanie zjawisku narastającej oporności na związki antybakteryjne. Prezentowane badania dotyczą izolacji szczepów opornych na antybiotyki beta- laktamowe i karbapenemy z próbek ścieków (surowych i oczyszczonych) oraz z wody morskiej pobranej z rejonów przybrzeżnych Morza Bałtyckiego. Izolację szczepów prowadzono metodą filtracji membranowej, oraz wykonywano posiewy na podłożach chromogennych. Do identyfikacji biochemicznej szczepów zastosowano automatyczny system VITEK 2 (bioMérieux). Charakterystyka molekularna szczepów zostanie przeprowadzona z wykorzystaniem sekwencjonowania całych genomów (WGS).

Projekt nr 2023/05/Y/NZ9/00169 finansowany przez Narodowe Centrum Nauki w ramach współpracy z siecią JPIAMR - Joint Programming Initiative on Antimicrobial Resistance

P9

Sorpcja diklofenaku na biomase *Chlorella vulgaris*: mechanizmy i modele

Ivan Liakh¹, Adrian Szewczyk², Magdalena Prokopowicz², Magdalena Narajczyk³, Anna Aksmann⁴, Darya Harshkova⁴, Bartosz Wielgomas¹

¹ Gdański Uniwersytet Medyczny, Wydział Farmaceutyczny, 80-416 Gdańsk, Al. Gen. J. Hallera 107

² Gdański Uniwersytet Medyczny, Wydział Farmaceutyczny, 80-416 Gdańsk, Al. Gen. J. Hallera 107

³ Uniwersytet Gdański, Wydział Biologii, 80-308 Gdańsk, ul. Wita Stwosza 59

⁴ Uniwersytet Gdański, Wydział Biologii, 80-308 Gdańsk, ul. Wita Stwosza 59

ivan.liakh@gumed.edu.pl

Diklofenak (DCF), przedstawiciel grupy niesteroidowych leków przeciwzapalnych (NLPZ), jest w niewielkim stopniu usuwany ze ścieków za pomocą tradycyjnych metod oczyszczania. Tanie sorbenty, takie jak odpady rolnicze i glony, mogą stanowić alternatywę dla kosztownych metod, takich jak naświetlanie UV, ozonowanie czy zastosowanie węgla aktywnego. Jednokomórkowy glon - *Chlorella vulgaris* jest obiecującym organizmem ze względu na szybki wzrost i zdolność do usuwania zanieczyszczeń, a jej martwa biomasa ma praktyczne zalety w porównaniu z żywymi komórkami. Ponadto, biomasa pozbawiona lipidów – produkt uboczny produkcji biodiesla – wykazała potencjał w adsorpcji antybiotyków.

W niniejszej pracy przedstawiono możliwość wykorzystania biomasy *Chlorella* oraz jej modyfikacji (biomasa po obróbce ultradźwiękami, po ekstrakcji lipidów oraz po zastosowaniu obu procesów) do sorpcji DCF z roztworów wodnych.

Wykazano, że wydajność sorpcji istotnie zależy od pH roztworu. Obniżenie pH z 6 do 2 powoduje wzrost efektywności procesu z 5% do 68%, natomiast przy podwyższeniu pH do 9,0 obserwuje się niemal całkowitą desorpcję (do 99%).

Izotermy sorpcji dla biomasy niemodyfikowanej oraz po ekstrakcji lipidów (CV-E2) najlepiej opisują modele Langmuira i Freundlicha, dla biomasy poddanej obróbce ultradźwiękami (CV-E1) – model Temkina, natomiast dla kombinacji obu modyfikacji (CV-E3) – model Dubinina-Raduszkiewicza. Analiza izoterm wraz z charakterystyką fizykochemiczną sorbentów pozwala wnioskować o znaczącym wpływie lipidów komórkowych oraz wielkości cząstek na mechanizmy sorpcji.

Uzyskane wyniki podkreślają potencjał *Chlorella* w zrównoważonym usuwaniu leków, wymagający dalszej optymalizacji i skalowania w celu praktycznego wdrożenia.

Badania finansowane ze środków Narodowego Centrum Nauki [grant UMO-219/35/B/NZ9/01567].

P10

PASSIL jako narzędzie do monitorowania farmaceutyków w wodach morskich i rzecznych

Hanna Lis¹, Magda Caban¹

¹ Uniwersytet Gdański, Wydział Chemii, 80-308 Gdańsk, ul. Wita Stwosza 63

hanna.lis@ug.edu.pl

W ostatnich latach wykazano, że ciecze jonowe mogą być stosowane jako faza akceptorowa w pasywnej ekstrakcji farmaceutyków z wody (PASSIL – *Passive Sampling with Ionic Liquids*)¹. Celem niniejszych badań była ocena możliwości zastosowania systemu PASSIL opartego na cieczy jonowej z kationem fosfoniowym do monitorowania farmaceutyków w rzeczywistych wodach środowiskowych oraz określenie wpływu materii organicznej na proces ekstrakcji².

Doświadczenia przeprowadzono z użyciem dicyjanamidu triheksyloetradecylfosfoniowego jako cieczy jonowej. Analizie poddano sulfametoksazol, diklofenak, atenolol, kofeinę i etynyloestradiol. Eksperymenty wykonano w wodzie rzecznej, morskiej oraz dejonizowanej z dodatkiem kwasów humusowych. Ekstrakcję pasywną prowadzono w układzie semi-statycznym przez pięć dni.

Uzyskane wyniki wskazały, że proces ekstrakcji charakteryzował się selektywnością. Odzysk atenololu i kofeiny był niewielki, natomiast najwyższą efektywność osiągnięto dla etynyloestradiolu i diklofenaku, czyli analitów o największym stopniu hydrofobowości, niezależnie od warunków prowadzenia badań. Jedynie w przypadku sulfametoksazolu zaobserwowano niewielkie obniżenie wydajności ekstrakcji w wodach środowiskowych w porównaniu z wodą dejonizowaną, co można wiązać z obecnością kwasów humusowych, podwyższonym zasoleniem oraz zmianami pH³.

Podsumowując, wysokie stężenie rozpuszczonej materii organicznej nie wpływa znacząco na efektywność pasywnej ekstrakcji metodą PASSIL. Technika ta stanowi obiecującą alternatywę dla metod ukierunkowanych na selektywną ekstrakcję farmaceutyków z różnych matryc wodnych. Uzyskane wyniki przyczyniają się do lepszego poznania właściwości cieczy jonowych oraz ich interakcji w środowisku wodnym.

¹ M. Caban, H. Męczykowska, P. Stepnowski, *Talanta*, **2016**, 155, 185–192.

² H. Lis, P. Stepnowski, M. Caban, *Microchem. J.*, **2021**, 165, 106121.

³ H. Męczykowska, P. Stepnowski, M. Caban, *Talanta*, **2018**, 179, 271–278.

P11

Opracowanie nowych rozwiązań metodycznych do oznaczania pozostałości β -blokerów oraz związków biogenych w procesie monitoringu jakości wody rzecznej i ścieków

Natalia Matwiej^{1,2}, Edyta Kiedrzyńska^{1,3}, Jerzy Kalwas⁴

¹ Europejskie Regionalne Centrum Ekohydrologii Polskiej Akademii Nauk, 90-364 Łódź, Tylna 3

² Szkoła Doktorska BioMedChem Uniwersytetu Łódzkiego i Instytutów Polskiej Akademii Nauk, 90-237 Łódź, Matejki 21/23

³ Uniwersytet Łódzki, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska, Katedra UNESCO Ekohydrologii i Ekologii Stosowanej, 90-237 Łódź, Banacha 12/16

⁴ VIGO Photonics, 05-850 Ożarów Mazowiecki, Poznańska 129/133

n.matwiej@erce.unesco.lodz.pl

Dokładne monitorowanie farmaceutyków i związków biogenych w próbkach wody i ścieków ma fundamentalne znaczenie dla jakości wód. W ostatniej dekadzie związki farmaceutyczne stały się istotnym przedmiotem badań środowiskowych, co wynika ze wzrostu konsumpcji leków na świecie, zmian demograficznych oraz postępu w ich opracowywaniu.¹ Choć ich pozostałości występują w środowisku zazwyczaj w niskich stężeniach, produkty farmaceutyczne są konstruowane tak, by wywoływać w organizmach efekt biologiczny już przy bardzo małych dawkach². Farmaceutyki, takie jak β – blokery, należą do grupy substancji szczególnie często wykrywanych w ściekach komunalnych oraz wodzie rzecznej. Ich powszechne stosowanie, trwałość chemiczna oraz niewystarczająca efektywność tradycyjnych metod oczyszczania sprawiają, że każdego roku wzrasta ładunek trafiający do środowiska. Chociaż stężenia β -blokerów w środowisku są niskie (od ng/l do μ g/l), nadal stanowią one pewne zagrożenie dla organizmów wodnych i ekosystemu. W prezentowanej pracy przeprowadzono optymalizację metodyki analitycznej LC-MS/MS do jednoczesnego oznaczania 12 β - blokerów w ściekach dopływających i odpływających z oczyszczalni ścieków, a także w wodzie rzecznej. Badane próby środowiskowe poddano ekstrakcji do fazy stałej, z zastosowaniem kolumnienek Strata X (Phenomenex, 200 mg/3 mL). Wstępne wyniki analiz pozwoliły zidentyfikować obecność badanych farmaceutyków zarówno w ściekach, jak i próbkach rzecznych.

Ponadto, dla zasobów wodnych poważny problem stanowią zanieczyszczenia związkami biogenymi tj. azotany, azotyny, fosforany i amoniak, które odpowiadają za przeżyźnienie i eutrofizację wód, a w konsekwencji toksyczne zakwity sinic. Chociaż techniki kolorymetryczne i spektroskopowe są wysoce czułe, to wymagają zaplecza laboratoryjnego i odczynników, co jest pracochłonne i kosztochłonne. W związku z powyższym, w ramach projektu FOSMO Water opracowywane są innowacyjne czujniki monitorowania parametrów chemicznych jakości wody, które będą pracować w trybie ciągłym i dostarczać danych w czasie rzeczywistym. Czujniki te będą bazować na rozwiązaniach z zakresu fotoniki, co znacznie zredukuje koszty analiz i czas pomiaru.

Źródło finansowania: Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach Projektu FOSMO Water HYDROSTRATEG1/000E/2022

¹ R. Ma, H. Qu, B. Wang, F. Wang, G. Yu, *Environ. Int.*, **2020**, 138

² M. Stec, A. Astel, *Ecohydrol. Hydrobio.*, **2024**, 523–534

P12

Zastosowanie elektrody diamentowej domieszkowanej borem do oznaczania itraconazolu w próbkach wody

Katarzyna Mielech-Łukasiewicz¹, Marlena Tomczuk¹, Karolina Michalska¹

¹ Uniwersytet w Białymstoku, Wydział Chemii, 15-245 Białystok, ul. Ciołkowskiego 1 K

mielech@uwb.edu.pl

Rozwój przemysłu farmaceutycznego, postęp medycyny, rosnąca liczba chorób cywilizacyjnych oraz rosnące spożycie leków w ramach profilaktyki chorób prowadzą do znacznego wzrostu ilości zanieczyszczeń farmaceutycznych w wodzie i ściekach. W wodach powierzchniowych, ściekach, a nawet wodzie pitnej, pozostałości leków i ich aktywnych metabolitów coraz częściej występują w ilościach wyrażonych w ng/L. Zanieczyszczona nimi woda stanowi poważne zagrożenie dla życia i zdrowia ludzi oraz zwierząt. Wzrost antybiotykoterapii i pojawianie się bakterii opornych na antybiotyki spowodował wzrost zastosowania w terapii, leków o właściwościach przeciwgrzybiczych. Obecnie do najczęściej stosowanych związków, należą pochodne azolowe, ze względu na wysokie bezpieczeństwo stosowania, niskie ryzyko interakcji lek-lek oraz szerokie spektrum działania wobec większości grzybów z rodziny *Candida*. A przy tym mogą być stosowane w leczeniu inwazyjnych grzybic układowych oraz powierzchniowych infekcji grzybiczych. Szerokie stosowanie związków z grupy pochodnych azolowych spowodowało, że były one wykrywane jako zanieczyszczania środowiskowe (np. mikonazol, ketokonazol i flukonazol zostały wykryte w ściekach¹. Natomiast itraconazol, fentikonazol i tiokonazol zostały wykryte w osadzie z oczyszczalni ścieków². Farmaceutyki z próbek środowiskowych są zazwyczaj wykrywane za pomocą metod chromatograficznych, często w połączeniu z tandemową spektrometrią mas³.

Celem przeprowadzonych badań było zastosowanie technik elektrochemicznych do oznaczania farmaceutycznych związków aktywnych w próbkach wód powierzchniowych. Praca pokazuje możliwość wykorzystania elektrody diamentowej domieszkowanej borem do oznaczania itraconazolu. Do badań wykorzystano metodę woltamperometrii zmiennoprądowej prostokątnej (SWV) oraz woltamperometrii plusowej różnicowej (DPV). Badania obejmowały określenie optymalnych warunków elektrootleniania wybranego związku, charakterystykę parametrów operacyjnych zastosowanych metod oraz opracowanie szybkich i czułych elektrochemicznych metod oznaczania itraconazolu. Proponowane procedury pozwoliły oznaczyć itraconazol w zakresie od $9 \cdot 10^{-9}$ do $1,9 \cdot 10^{-7}$ mol/L z wykorzystaniem techniki DPV oraz w zakresie od $8 \cdot 10^{-8}$ do $1,2 \cdot 10^{-6}$ mol/L techniką SWV⁴. Względne odchylenie standardowe pomiarów nie przekroczyło 5,7%. Opracowane procedury zostały z powodzeniem zastosowane do oznaczenia badanego analitu w próbkach wody.

¹ J. C. Van De Steene, C.P. Stove, W.E. Lambert, *Sci. Total Environ.*, **2010**, 408, 3448-3453.

² G. Castro, M. Roca, I. Redriguez, M. Ramil, R. Cela, *J. Chromatogr. A*, **2016**, 1476, 69-76.

³ D. Sang, N. Cimetiere, S. Giraudet, R. Tan, D. Wolbert, P. Le Cloirec, *Environ. Adv.*, **2022**, 8, 100212-100219.

⁴ K. Mielech-Łukasiewicz, B. Starczewska, *Water*, **2019**, 11, 1595-1608.

P13

Ocena toksyczności wybranych leków i ich produktów transformacji wobec organizmów wodnych

Ewa Mulkiiewicz, Anna Białk-Bielińska

Uniwersytet Gdański, Wydział Chemii, ul. Wita Stwosza 63, 80-308 Gdańsk

ewa.mulkiiewicz@ug.edu.pl

Leki, uznawane obecnie za nowopojawiające się zanieczyszczenia środowiska, stanowią poważne zagrożenie dla ekosystemów wodnych. Rosnące spożycie w ciągu ostatnich dwóch dekad skutkuje ciągłym wprowadzaniem tych biologicznie aktywnych związków do środowiska naturalnego. Niektóre z tych substancji przedostają się do środowiska jako związki macierzysty i/lub jako aktywne/nieaktywne metabolity. Ze względu na ich właściwości ważne jest zrozumienie ich losów w środowisku, a także wpływu na organizmy żywe zarówno zwierzęce jak i roślinne. Celem przeprowadzonych badań była ocena toksyczności leków należących do różnych grup terapeutycznych (m.in. niesteroidowe leki przeciwzapalne (NLPZ), leki przeciwnowotworowe, leki przeciwpadaczkowe, leki beta-adrenolityczne) i ich wybranych produktów transformacji wobec organizmów wodnych reprezentujących różne poziomy organizacji biologicznej oraz różne poziomy troficzne ekosystemów wodnych: bakterii luminescencyjnych (*Aliivibrio fischerii*), glonów zielonych (*Raphidocelis subcapitata*), rzęsy wodnej (*Lemna minor*) oraz rozwielitki (*Daphnia magna*). Wyniki przeprowadzonych badań wykazały różnice we wrażliwości organizmów wodnych na ekspozycję na leki. Zaobserwowaną większą wrażliwość glonów i roślin wyższych (*L. minor*) można tłumaczyć specyficznym sposobem działania tych leków.

Długotrwałe narażenie na działanie biologicznie aktywnych substancji (nawet w śladowych ilościach) często prowadzi do zaburzeń homeostazy komórkowej, wystąpienia efektów toksycznych, w tym stresu oksydacyjnego, a w konsekwencji zmiany aktywności enzymów antyoksydacyjnych. Dlatego enzymy antyoksydacyjne są wykorzystywane jako biomarkery w ekotoksykologii. Dla przykładu, zgodnie z dostępną literaturą, toksyczność NLPZ może być związana z wywoływaniem stresu oksydacyjnego. W wyizolowanych chloroplastach *L. minor* obserwowano wzrost poziomu reaktywnych form tlenu i azotu, a także zwiększoną peroksydację lipidów po ekspozycji na diklofenak¹. W związku z powyższym w kolejnym etapie przeprowadzono badania enzymów obrony antyoksydacyjnej u rzęsy drobnej poddanej działaniu diklofenaku, jednego z leków najczęściej wykrywanych w wodach powierzchniowych. Uzyskane wyniki wykazały, że ekspozycja na diklofenak powoduje wzrost aktywności enzymów stresu oksydacyjnego (GR, CAT, A-POD, G-POD, P-POD) u rzęsy wodnej.

¹ M. Hájková, M. Kummerová, S. Zezulka, P. Babula, P. Václav. *Chemosphere* **2019**, 224, 892– 899.

P14

Joheksol w ściekach – oddziaływanie związku kontrastowego na mikroorganizmy osadu czynnego

Agnieszka Nowak¹, Urszula Guzik¹, Danuta Wojcieszewska¹

¹ Uniwersytet Śląski w Katowicach, Wydział Nauk Przyrodniczych,
40-032, Katowice, ul. Jagiellońska 28

agnieszka.a.nowak@us.edu.pl

Środki kontrastowe są powszechnie stosowane w diagnostyce obrazowej, zwłaszcza w tomografii komputerowej. Obecnie na całym świecie wykonuje się ponad 400 milionów takich badań rocznie. Przykładem tego typu związku jest joheksol – pochodna kwasu 2,4,6-trijodobenzoesowego, zawierająca podstawniki hydroksylowe w łańcuchach bocznych oraz trzy atomy jodu przyłączone do pierścienia aromatycznego. Dzięki swojej budowie chemicznej joheksol cechuje się wysoką stabilnością w środowisku, kumuluje się w ściekach i osadach ściekowych, a ostatecznie trafia do oczyszczalni.

Wraz ze wzrostem stężenia joheksolu mikroorganizmy osadu czynnego poddawane są jego długotrwałemu oddziaływaniu. Celem badań było określenie wpływu tej substancji na strukturę i funkcjonowanie mikroorganizmów osadu czynnego w trakcie 100-dniowej ekspozycji.

Uzyskane wyniki pokazały, że mikroorganizmy osadu czynnego były zdolne do transformacji joheksolu, choć wydajność tego procesu zmniejszała się z czasem. Pomimo obniżonej zdolności do biotransformacji, długotrwała ekspozycja na wyższe stężenia joheksolu doprowadziła do wzrostu różnorodności funkcjonalnej i aktywności mikroorganizmów, co potwierdzają wartości indeksu Shannona i aktywności dehydrogenaz. Zmiany w różnorodności funkcjonalnej drobnoustrojów były związane z metabolizmem aminokwasów i węglowodanów oraz cyklem fosforu.

Wyniki te sugerują, że joheksol nie działa jako selektywny czynnik wobec określonych grup mikroorganizmów, prawdopodobnie ze względu na swoją niską toksyczność. Niemniej jednak, długotrwała ekspozycja osadu czynnego na wysokie stężenia tej substancji może prowadzić do zmian funkcjonalnych i potencjalnie zaburzać procesy oczyszczania ścieków.

Badania zostały sfinansowane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektu Miniatura 5 (2021/05/X/NZ9/00457; tytuł grantu: Wpływ wybranych jodowych środków kontrastowych na aktywność i różnorodność mikroorganizmów osadu czynnego).

P15

Identyfikacja narażenia populacji na skażenie środowiska wybranymi antybiotykami zaadsorbowanymi na mikroplastiku

Justyna Pyssa¹, Laura Frydel¹, Dominika Uchmanowicz¹, Xymena Badura², Katarzyna Styszko¹

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Energetyki i Paliw, 30-059 Kraków, Al. Mickiewicza 30

² Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy, 31-503 Kraków, ul. Lubicz 25A

jpyssa@agh.edu.pl

Jednym z najistotniejszych zagrożeń XXI, które pojawiło się wraz z rozwojem współczesnej medycyny i gwałtownym wzrostem konsumpcji farmaceutyków, jest przenikanie substancji farmaceutycznych do środowiska przyrodniczego. Wśród nich szczególne miejsce zajmują antybiotyki, które, stosowane na szeroką skalę, przedostają się do środowiska, a ich obecność może prowadzić do poważnych zagrożeń. Pozostałości antybiotyków obecne w ściekach, glebie oraz wodach powierzchniowych i gruntowych świadczą o ich zdolności do długotrwałego utrzymywania się w środowisku oraz potencjalnym ryzyku kumulacji w łańcuchu pokarmowym¹.

Równocześnie narastającym problemem jest zanieczyszczenie środowiska mikroplastikiem, którego drobiny, o średnicy poniżej 5 mm i dużej powierzchni właściwej, wykazują zdolność do adsorbowania innych zanieczyszczeń, w tym farmaceutyków. Mikroplastik, powstający zarówno w wyniku degradacji większych odpadów plastikowych, jak i produkowany bezpośrednio w formie drobnych cząsteczek, jest obecny we wszystkich ekosystemach – od oceanów po gleby, a dzięki swoim właściwościom i strukturze, pełni rolę „nośnika” substancji szkodliwych². Może on transportować niebezpieczne materiały na znaczne odległości, a procesy desorpcji, uwalniając substancje trujące w nowych miejscach, zwiększają ryzyko ich rozprzestrzeniania się i wnikania do kolejnych elementów środowiska³.

Wzajemne oddziaływanie antybiotyków i mikroplastiku stanowi istotne zagrożenie, wymagające szczegółowej analizy mechanizmów związanych z procesami adsorpcji i desorpcji.

Poznanie dróg zanieczyszczenia środowiska naturalnego farmaceutykami, zrozumienie mechanizmów oddziaływania leków na otoczenie i identyfikacja zagrożeń, jakie te oddziaływania za sobą niosą umożliwi opracowanie rozwiązań, które będą miały na celu w przyszłości ograniczenie przenikania farmaceutyków do środowiska oraz redukcję ich obecności w naturalnych ekosystemach.

Podziękowania

Badania finansowane w ramach Subwencji Badawczej AGH 16.16.210.476

¹ A. Zabłotni, A. Jaworski, Postępy Hig Med Dosw **2014**; 68, 1040-1049

² K. Styszko, W. Bolesta, J. Worek, Z. Prus, K. Cwynar, J. Pyssa, D. Uchmanowicz, L. Frydel, A.P. Daso, B. Kasprzyk-Hordern. 2025 Energy Reports **2025**, 13, 4756-4768

³ K. Styszko, W. Bolesta, J. Worek, D. Kaleta, A. Nalepa, J. Pyssa, K. Cwynar, Z. Prus, L. Frydel, EGU24-20853, **2024**

P16

Analiza niecelowana wód podziemnych z wykorzystaniem techniki LC-HR-MS/MS i oprogramowania Compound Discoverer

Anna Rojewska¹, Jean Froment² Paweł Rostkowski², Anna Białk-Bielińska¹

¹ Uniwersytet Gdański, Wydział Chemii, 80-308 Gdańsk, ul. Wita Stwosza 63, Polska

² NILU, 2007 Kjeller, Instituttveien 18, Norwegia

anna.rojewska@phdstud.ug.edu.pl

Analizy niecelowane stanowią nowoczesne podejście do oceny jakości środowiska wodnego, umożliwiające identyfikację nieznaną wcześniej zanieczyszczeń. W odróżnieniu od analiz celowanych, które koncentrują się na ograniczonej grupie analitów, podejście niecelowane pozwala na kompleksowe profilowanie próbek i wykrywanie szerokiego spektrum zanieczyszczeń, w tym związków zaliczanych do tzw. *emerging contaminants*, obejmujące także leki. Metody te znajdują coraz szersze zastosowanie na świecie¹, lecz w Polsce są wciąż rzadko wykorzystywane.

Wody podziemne, stanowiące jedno z głównych źródeł wody pitnej w Polsce², są szczególnie narażone na oddziaływanie działalności rolniczej i przemysłowej, a jednocześnie podlegają ograniczonemu monitoringowi. Z tego względu badania ich składu chemicznego z wykorzystaniem podejść niecelowanych są kluczowe dla oceny jakości i bezpieczeństwa zasobów wodnych.

Dlatego też, celem niniejszych badań było przeprowadzenie analiz niecelowanych wód podziemnych z rejonu województwa pomorskiego. Próbkę przygotowano z użyciem techniki ekstrakcji do fazy stałej (SPE), natomiast analizy końcowe wykonano z zastosowaniem chromatografii cieczowej sprzężonej z wysokorozdzielczą spektrometrią mas (LC-HR-MS/MS). Analizy wykonano w dwóch trybach jonizacji (dodatniej i ujemnej), co znacząco poszerzyło zakres wykrywanych zanieczyszczeń. Do analizy danych użyto oprogramowania Compound Discoverer.

Uzyskane wyniki wskazują, że skład chemiczny badanych próbek wód podziemnych jest zróżnicowany, a obserwowane różnice między lokalizacjami mogą wynikać zarówno z naturalnych procesów geochemicznych, jak i z wpływu działalności człowieka. Otrzymane dane stanowią podstawę do dalszych prac, ukierunkowanych na dokładną identyfikację wybranych zanieczyszczeń oraz ocenę ich wpływu na zdrowie człowieka.

¹ K. Liu, J. Qiu, C. Weng, J. Tao, Z. Tang, J. Zeng, N. Liu, X. Wang, *J. Environ. Chem. Ecotoxicol.*, **2025**, 7, 1315-1325

² M. Zeleňáková, K. Kubiak-Wójcicka, A.M. Negm, *Management of Water Resources in Poland*, Springer, **2021**, 141-160

P17

Zastosowanie rodników PMS/PDS do fotokatalitycznego usuwania karbamazepiny i cyklofosfamidu

Aneta Kohnke^{1,2}, Patrycja Wilczewska¹, Aleksandra Bielicka-Giełdoń¹, Anna Grzegórska², Anna Zielińska-Jurek², Ewa M. Siedlecka¹

¹Uniwersytet Gdański, Wydział Chemii, 80-308 Gdańsk, ul. Wita Stwosza 63

²Politechnika Gdańska, Wydział Chemiczny, 80-233 Gdańsk ul. Gabriela Narutowicza 11/12

ewa.siedlecka@ug.edu.pl

Zanieczyszczenie środowiska wodnego związkami organicznymi z roku na rok staje się coraz większym problemem. Jedną z przyczyn jest obecność związków organicznych (np. Aktywne substancje farmaceutyczne API) o potencjalnie niekorzystnym wpływie na zdrowie organizmów żywych. Wiele z nich to związki trudno biodegradowalne, dlatego usuwanie ich metodami biologicznymi powszechnie stosowanymi w miejskich oczyszczalniach ścieków jest nieskuteczne. Powoduje to wzrost stężenia pozostałości API w zbiornikach wodnych, najczęściej stanowiących odbiorniki ścieków¹. Ich obecność w środowisku może mieć negatywny wpływ zarówno na środowisko, ale również na stan zdrowia organizmów żywych. Fotokataliza heterogeniczna należąca do procesów zaawansowanego utleniania jest skuteczną metodą usuwania trudno biodegradowalnych związków organicznych. Szczególną zaletą tej metody jest generowanie *in situ* reaktywnych indywiduów chemicznych, które efektywnie utleniają i/lub redukują zanieczyszczenia organiczne². Wspomaganie fotokatalizy dodaniem nadsiarczanów (nadtlenosiarczanu-PMS lub nadtlenodisiarczanu-PDS) pozwala na efektywne usuwanie API. Fotokatalityczna aktywacja PMS/PDS prowadzi do generowania zarówno rodników hydroksylowych jak i siarczanowych. Mieszanina tych rodników w wielu wypadkach okazuje się bardziej skuteczna w rozkładzie API niż fotokataliza³ i reakcje z udziałem wyłącznie rodników hydroksylowych. Wynika to z odmiennego mechanizmu reakcji tych indywiduów chemicznych z materią organiczną.

W badaniach oceniono efektywność usuwania z roztworów pojedynczych leków oraz ich mieszaniny cyklofosfamidu i karbamazepiny w procesie fotokatalizy wspomaganej aktywacją nadsiarczanów (PDS/PMS). Jako fotokatalizator wykorzystano BiOBr z magnetycznym $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, który umożliwiał efektywną separację fotokatalizatora po procesie. Badania wykazały, że efektywność fotokatalizatora jest stabilna w pięciu cyklach.

¹ W. Ruicheng, G. Feng and W. Ran, *Chemosphere*, **2011**, 82 (10), 1408-1414

² A. Grzegórska, P. Głuchowski, J. Karczewski, J. Ryl, I. Wysocka, K. Siuzdak, G. Trykowski, K. Grochowska, A. Zielińska-Jurek, *Chem. Eng. J.*, **2021**, 426, 12

³ A. Kohnke, P. Wilczewska, J. Brzeski, K. Szczodrowski, J. Ryl, A. Malankowska, A. Bielicka-Giełdoń, E.M. Siedlecka, *Sep. Purif. Technol.*, **2025**, 375, 133747

P18

Odpowiedź komórek bakteryjnych na ekspozycję na antybiotyki w obecności surfaktantów naturalnych

Wojciech Smulek¹, Aleksandra Makiej¹, Przemysław Bernat², Ewa Kaczorek¹

¹ Politechnika Poznańska, Wydział Technologii Chemicznej,
61-131 Poznań, ul. Berdychowo 4

¹ Uniwersytet Łódzki, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska,
90-237 Łódź, ul. Banacha 12/16

wojciech.smulek@put.poznan.pl

W dobie narastającego zagrożenia rozprzestrzenianiem się antybiotykooporności coraz większą uwagę zwracają strategie wspomagania działania farmaceutyków bez zwiększenia ich dawki terapeutycznej. Ekstrakt z *Sapindus mukorossi*, bogaty w bioaktywne saponiny, stanowi potencjalnie skuteczne narzędzie w zwalczaniu patogenów bakteryjnych. W prezentowanym badaniu oceniono zdolność ekstraktu z *S. mukorossi* do wzmacniania aktywności antybiotyku polimyksyny B wobec czterech szczepów bakteryjnych: *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Pseudomonas aeruginosa* oraz *Escherichia coli*. Do oceny aktywności metabolicznej i zmian w przepuszczalności błon komórkowych analizowanych szczepów zastosowano metody biologii eksperymentalnej. Ponadto, w celu określenia żywotności komórek oraz wizualizacji zmian morfologicznych, wykorzystano transmisyjną mikroskopie elektronowa. Uzyskane wyniki zestawiono również z danymi z analiz lipidomicznych oraz profilów estrów metylowych kwasów tłuszczowych.

Największe zahamowanie wzrostu wszystkich badanych szczepów bakterii zaobserwowano w przypadku samego antybiotyku, co wskazuje na jego silne działanie przeciwbakteryjne. Co istotne, antybiotyk wykazał znaczący wpływ na aktywność metaboliczną *P. aeruginosa* i *S. aureus*, co jest zgodne z wcześniejszymi ustaleniami. Z kolei połączenie antybiotyku z ekstraktem z *S. mukorossi* skutkowało zwiększeniem całkowitej przepuszczalności błony szczepów bakterii. Z drugiej strony, analiza fosfolipidów pokazuje, że w przypadku *E. coli* tylko obecność saponin i antybiotyku doprowadziła do kluczowej zmiany, jaką było zmniejszenie stężenia fosfatydyloglicerolu na rzecz fosfatydyloetanoloaminy.

Przeprowadzone eksperymenty wykazały, że dodatek ekstraktu z *S. mukorossi* umożliwia redukcję wymaganej dawki polimyksyny B, co wskazuje na możliwość ograniczenia negatywnego oddziaływania pozostałości antybiotyków na środowisko oraz zahamowania rozprzestrzeniania się genów oporności na antybiotyki w ekosystemach wodnych i glebowych.

Badania zostały sfinansowane w ramach projektu 2020/39/B/NZ9/03196 finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki (NCN).

P19

**Stężenie substancji leczniczych w organizmach epibentosowych
w strefie przybrzeżnej Zatoki Admiralicji (Wyspa Króla Jerzego,
archipelag Szetlandy Południowe, Antarktyda)**

Adam Sokołowski¹, Magda Caban², Anna Panasiuk¹, Maria Włodarska-Kowalczyk³, Piotr Balazy³

¹ Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, 81-378 Gdynia, Al. Marszałka J. Piłsudskiego 46

² Uniwersytet Gdański, Wydział Chemii, 80-308 Gdańsk, ul. Wita Stwosza 63

³ Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk, 81-712 Sopot, ul. Powstańców Warszawy 55

adam.sokolowski@ug.edu.pl

Obecność substancji leczniczych w środowisku morskim Antarktydy została odnotowana już wiele lat temu, ale zagadnienie bioakumulacji tych związków wciąż pozostaje słabo rozpoznane. Celem niniejszych badań była detekcja i oznaczenie ilościowe wybranych farmaceutyków w organizmach zasiedlających dno Zatoki Admiralicji na Wyspie Króla Jerzego (Szetlandy Południowe, Antarktyda). Wybrane związki analizowano metodą LC-MS/MS w dominujących gatunkach epibentosowych, które zebrano z wykorzystaniem techniki nurkowania swobodnego (SCUBA) na ośmiu stanowiskach badawczych zlokalizowanych w strefie sublitoralnej (głębokość wody 3 – 30 m) podczas australijskiego lata (luty 2023 r.). Spośród 22 analitów, w zebranym materiale biologicznym stwierdzono obecność jedynie dwóch substancji: kofeiny (CAF, zakres stężeń 2.0 – 14.3 ng g⁻¹ s.m.) i karbamazepiny (CBZ, 16.0 – 488.0 ng g⁻¹ s.m.), w makroglonach i bezkręgowcach, co potwierdza stosunkowo niski poziom zanieczyszczenia zatoki substancjami leczniczymi. Związki te wykryto głównie w północnej części (Mackellar Inlet i Martel Inlet), co prawdopodobnie odzwierciedla ich podwyższone stężenia środowiskowe i wskazuje na lokalne stacje badawcze (peruwiańska stacja antarktyczna Machu Picchu i brazylijska stacja antarktyczna Comandante Ferraz) jako główne, punktowe źródła zanieczyszczeń. Niezależnie od lokalizacji stanowisk badawczych, obydwa związki występowały niemal wyłącznie w brunatnicach i krasnorostach (częstotliwość detekcji w glonach, DF_{CAF} = 100%, DF_{CBZ} = 62.5%), co sugeruje ich predyspozycję do akumulacji CAF i CBZ z otaczającego środowiska. Przeprowadzone badania dostarczyły pierwszych dowodów na obecność substancji leczniczych w organizmach makrobentosowych Antarktydy, a uzyskane wyniki mogą być wykorzystane do oceny ryzyka środowiskowego.

P20

Ocena efektywności elektrochemicznego utleniania wybranych mikrozanieczyszczeń organicznych z wykorzystaniem znakowania radioizotopem węgla-14 (^{14}C)

Małgorzata Szopińska¹, Angelika Łepek¹, Iwona Kaczmarzyk¹, Adrian Olejnik¹, Per Falås², Åsa Davidsson², Michael Cimbritz², Filip Gamoń¹, Mattia Pierpaoli¹

¹ Politechnika Gdańska, 80-233 Gdańsk, ul. G. Narutowicza 11/12

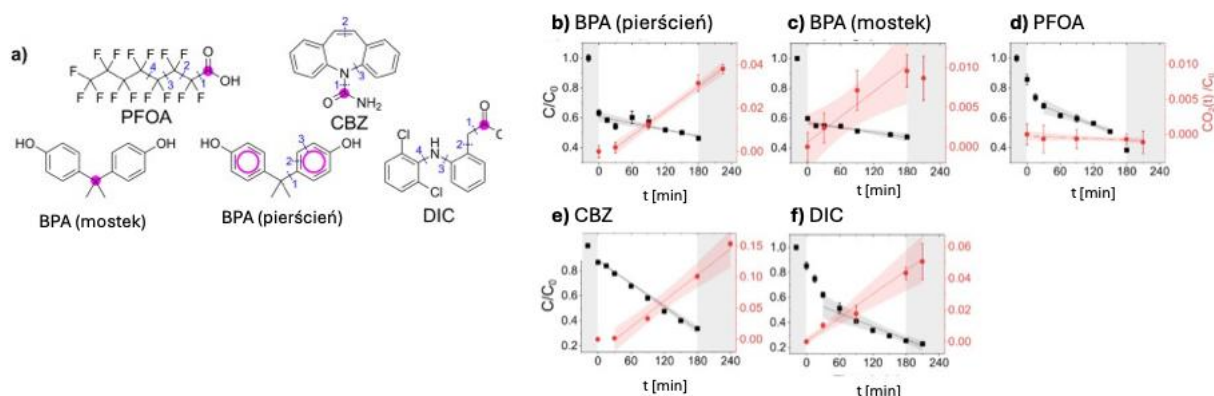
² Uniwersytet w Lund, SE-221 00 Lund, Skrytka pocztowa 124, Szwecja

malszopi@pg.edu.pl

Kluczowym elementem badań była ocena efektywności elektrochemicznego utleniania wybranych mikrozanieczyszczeń organicznych (MZO): bisfenolu A (BPA), diklofenaku (DIC), karbamazepiny (CBZ) i kwasu perfluorooktanowego (PFOA) z zastosowaniem znakowania radioizotopem węgla-14 (^{14}C), Rys. 1a. Aktywność ^{14}C w próbkach została oznaczona za pomocą licznika ciekłoscyntylacyjnego (ang. *liquid scintillation counter*) Tri-Carb 4910 TR, Perkin Elmer. Do wytwarzania elektrod wykorzystano produkty termicznego przetwarzania osadów ściekowych (ang. *sewage sludge ash*, SSA) i biowęgiel (ang. *biochar*, CB). Proces mineralizacji MZO w wodzie śledzono na podstawie monitorowania powstawania $^{14}\text{CO}_2$.

Elektrody SSA wykazały największą skuteczność w mineralizacji BPA, osiągając 1,6-krotnie wyższą szybkość produkcji $^{14}\text{CO}_2$ w porównaniu z elektrodami referencyjnymi (Rys. 1 b-f). CBZ i DIC ulegały tylko częściowej mineralizacji, natomiast dla PFOA nie stwierdzono powstawania $^{14}\text{CO}_2$ co wskazuje na odmienny mechanizm usuwania.

Nowatorskie wykorzystanie materiałów odpadowych w celu produkcji elektrod wspiera założenia gospodarki obiegu zamkniętego i jednocześnie umożliwia efektywne usuwanie MZO.



Rys. 11. (a) Lokalizacja znakowania izotopem ^{14}C w wybranych MZO zaznaczona kolorem różowym; znormalizowane stężenia MZO podczas elektrouhleniania z wykorzystaniem elektrody referencyjnej: (a) BPA (pierścień), (b) BPA (mostek), (c) PFOA, (d) CBZ oraz (e) DIC i odpowiadająca im produkcja CO_2 .

Podziękowania dla Narodowego Centrum Nauki (projekt PHOENIX, OPIS 16, 2022/45/B/ST8/02847) oraz dla Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego (projekt LIMIT, Interreg Południowy Bałtyk; STHB.02.02.00-IP.01-0001/23).

¹A. Łepek, M. Szopińska, I. Kaczmarzyk, A. Olejnik, P. Falås, A. Davidsson, M. Cimbritz, F. Gamoń, M. Pierpaoli, *Chem. Eng. J.* **2025**, 520, 166284.

P21

Degradacja ketoprofenu przez wybrany szczep środowiskowy

Danuta Wojcieszynska¹, Paweł Solski¹, Urszula Guzik¹

¹ Uniwersytet Śląski w Katowicach, Wydział Nauk Przyrodniczych, Instytut Biologii, Biotechnologii i Ochrony Środowiska, 40-032 Katowice, Jagiellońska 28

danuta.wojcieszynska@us.edu.pl

Ketoprofen należy do grupy niesteroidowych leków przeciwzapalnych (NLPZ), których działanie oparte jest na inhibicji dwóch izoenzymów cyklooksygnazy: COX-1 i COX-2. Ze względu na dwupierścieniową, trudnodegradowalną strukturę oraz powszechne stosowanie, ketoprofen coraz częściej identyfikowany jest w różnych typach wód. Jego obecność może wiązać się z wywoływaniem skutków ubocznych u organizmów zasiedlających biocenozy wodne. W związku z powyższym coraz więcej uwagi poświęca się poszukiwaniu nowych metod usuwania tego leku ze środowiska.

W przeprowadzonych badaniach dokonano skriningu mikroorganizmów ze środowiska pod kątem ich zdolności do degradacji ketoprofenu. Spośród 10 wyizolowanych szczepów, jedynie dwa gramdodatnie szczepy oznaczone jako B3 i B9, pochodzące odpowiednio z rzeki Kłodnicy w Gliwicach oraz ciekę wodnego w pobliżu Pawłowic Śląskich, wykazywały zdolność do rozkładu ketoprofenu. Ze względu na wydajność degradacji, do dalszych badań wybrano szczep B9. Badania toksykologiczne wykazały, iż szczep ten jest również wysoce odporny na toksyczne działanie ketoprofenu. Obecność tego NLPZ nie powoduje wzrostu biomarkerów stresu oksydacyjnego, takich jak katalaza czy dialdehyd malonowy. Równocześnie obserwuje się niskie wartości fosfataz kwasowych i zasadowych w obecności tego leku, co wskazuje, iż komórki szczepu B9 nie ulegają uszkodzeniu w jego obecności. Badania degradacyjne w obecności dodatkowego źródła węgla w postaci glukozy (1 g/L), wykazały 60% degradację wprowadzonej dawki w wysokości 10 mg/L w ciągu 14 dni. Dotychczasowa analiza enzymów wskazuje, iż degradacja ketoprofenu nie zachodzi szlakiem z katecholem, jako kluczowym intermediatem, gdyż nie obserwowano aktywności żadnej z dioksygenaz katecholowych.

Uzyskane pilotażowe wyniki wskazują na duży potencjał wyizolowanego szczepu w procesie degradacji ketoprofenu. Dalsze analizy dotyczyć będą optymalizacji procesu degradacji oraz opracowania szlaku rozkładu tego związku.

